



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PENGARUH KONSENTRASI AlCl_3 PADA
SINTESIS $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *CORE-SHELL POWDER*
TERHADAP KARAKTERISTIK *DYE SENSITIZED*
*SOLAR CELL (DSSC)***

NUR HASANAH AZKA TIFFANY
NRP. 2412 100 008

Dosen Pembimbing
Dr.-Ing Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.
Dyah Sawitri, S.T., M.T.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TF 141581

**INFLUENCE OF AlCl_3 CONCENTRATION IN
 $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ CORE-SHELL SYNTHESIS TO DYE
SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)
CHARACTERISTIC**

NUR HASANAH AZKA TIFFANY
NRP. 2412 100 008

Dosen Pembimbing
Dr.-Ing Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.
Dyah Sawitri, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**PENGARUH KONSENTRASI AlCl_3 PADA SINTESIS
 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ CORE-SHELL POWDER TERHADAP
KARAKTERISTIK DYE SENSITIZED SOLAR CELL
(DSSC)**

TUGAS AKHIR

Oleh :

Nur Hasanah Azka Tiffany

NRP : 2412 100 008

**Surabaya, Agustus 2016
Mengetahui/Menyetujui**

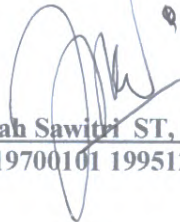
Pembimbing I ,



Dr.-Ing Dory Dewi Risanti, ST, MT

NIP. 19740903 199802 2 001

Pembimbing II,



Dyah Sawitri ST, MT

NIP. 19700101 199512 2 001

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D

NIP. 19780902 200312 1 002

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PENGARUH KONSENTRASI AlCl_3 PADA SINTESIS
 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ CORE-SHELL POWDER TERHADAP
KARAKTERISTIK DYE SENSITIZED SOLAR CELLS
(DSSC)**

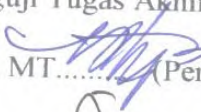


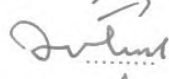
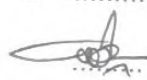
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Bahan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Nur Hasanah Azka Tiffany
NRP. 2412 100 008

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.-Ing Doty Dewi Risanti, ST, MT..... (Pembimbing I)
2. Dyah Sawitri, ST, MT (Pembimbing II)
3. Lizda Johar Mawarani, ST, MT (Ketua Penguji)
4. Ir. Zulkifli, MSc (Penguji II)
5. Bagus Tris Atmaja, ST, MT (Penguji III)

**SURABAYA
AGUSTUS 2016**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**PENGARUH KONSENTRASI AlCl_3 PADA
SINTESIS $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ CORE-SHELL POWDER
TERHADAP KARAKTERISTIK DYE SENSITIZED
SOLAR CELL (DSSC)**

Nama Mahasiswa : Nur Hasanah Azka Tiffany
NRP : 2412100008
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.-Ing Doty Dewi Risanti, S.T., M.T.
Dyah Sawitri, S.T., M.T.

ABSTRAK - Telah dilakukan fabrikasi *dye sensitized solar cell* (DSSC) berdasarkan konsentrasi AlCl_3 dengan semikonduktor oksida $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell* dan kulit manggis sebagai *dye fotosensitizer*. Terdapat enam variasi konsentrasi AlCl_3 dan metode yang digunakan dalam sintesis adalah metode sol gel dengan suhu kalsinasi 240°C . $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell powder* dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, zeta potensial dan *particle size analyzer* (PSA). Dari hasil karakterisasi XRD didapatkan fase berupa $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan TiO_2 anatase. Karakterisasi FTIR menunjukkan bilangan gelombang 439 cm^{-1} dan 583 cm^{-1} yang merupakan gugus fungsi Ti-O-Al sebagai tanda bahwa *core-shell* terbentuk. Hasil karakterisasi zeta potensial menunjukkan bahwa sampel $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell* dengan konsentrasi 2,75 gr memiliki tingkat aglomerasi yang lebih tinggi dibandingkan kelima sampel yang lain. Ukuran partikel yang dihasilkan adalah 316,3 nm sampai 526,6 nm. Kurva I-V DSSC dengan konsentrasi AlCl_3 2,25 gr menunjukkan hasil terbaik dengan efisiensi sebesar 0,000057%.

Kata Kunci—DSSC, $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell*, konsentrasi AlCl_3 , efisiensi DSSC.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

INFLUENCE OF AlCl_3 CONCENTRATION IN CORE-SHELL POWDER SYNTHESIS TO DYE SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSC) CHARACTERISTICS

Name : Nur Hasanah Azka Tiffany
NRP : 2412100008
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Dr.-Ing Doty Dewi Risanti, ST, MT
Dyah Sawitri, ST, MT

ABSTRACT - Dye-sensitized solar cell (DSSC) based on AlCl_3 concentration has been fabricated with Al_2O_3 core-shell semiconductor oxide and mangosteen dyes as fotosensitizer. Six variations in AlCl_3 concentration synthesized using sol gel method and calcined at temperature of 240°C were used in this research. $\text{Al}_2\text{O}_3@ \text{TiO}_2$ core-shell powder were characterized by XRD, FTIR, zeta potential and particle size analyzer (PSA). $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ and TiO_2 anatase phases were identified from XRD test. Wavenumbers at 439 and 583 cm^{-1} from FTIR test showed Ti-O-Al functional groups and this functional group can indicate that core-shell has formed. Zeta potential test showed that $\text{Al}_2\text{O}_3@ \text{TiO}_2$ core-shell sample was highly agglomerated for sample with 2.75 gr concentration. Particle size of core-shell was ranging from 316.3 to 526.6 nm. The best efficiency of DSSC was obtained for sample containing 2.75 gr AlCl_3 , i.e., 0.000057%.

Keywords— DSSC, $\text{Al}_2\text{O}_3@ \text{TiO}_2$ core-shell, AlCl_3 concentration, DSSC efficiency.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL BAHASA INDONESIA	i
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	v
LEMBAR PERSETUJUAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II DASAR TEORI	
2.1 Titanium Dioksida (TiO_2)	5
2.2 Aluminium Oxide (Al_2O_3)	6
2.3 $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ <i>Core-Shell</i>	8
2.4 Metode Sol-gel	9
2.5 <i>Dye Sensitized Solar Cell</i> (DSSC)	10
2.6 Komponen DSSC	12
2.7 Performansi DSSC	15
2.8 Perhitungan DSSC	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Alat dan Bahan	20
3.2 Sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ <i>Core-Shell Powder</i>	22
3.3 Ekstraksi Pewarna Kulit Manggis	23
3.4 Preparasi Fotoelektroda $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$	24
3.5 Perendaman Kaca TCO berlapis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ di Larutan Pewarna	25
3.6 Perakitan DSSC	26

3.7	Karakterisasi Material $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$	Hal 26
3.8	Pengujian Performansi DSSC	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil Karakterisasi XRD $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$	37
4.2	Hasil Karakterisasi FTIR $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$	38
4.3	Hasil Karakterisasi Zeta Potensial $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$	40
4.4	Hasil Karakterisasi PSA $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$	42
4.5	Uji Kurva I-V DSSC	45
4.6	Spektrum IPCE DSSC	48
4.7	Karakterisasi BET	49
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN A		
LAMPIRAN B		
LAMPIRAN C		
LAMPIRAN D		
LAMPIRAN E		
BIOGRAFI PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 2.1	Struktur Kristal Rutile, Anatase, Brookite	5
Gambar 2.2	Struktur Kristal Mineral Korundum Al_2O_3	6
Gambar 2.3	Grafik Transformasi Fasa Alumina	7
Gambar 2.4	Struktur <i>Core-Shell</i> pada $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$	9
Gambar 2.5	Metode Sol-gel (a) Representasi Sintesis Kimia (b) Mekanisme Reaksi Pembentukan	10
Gambar 2.6	Skema Proses Fotoelektrokimia pada DSSC	11
Gambar 2.7	Struktur <i>Anthocyanins</i>	13
Gambar 2.8	Kurva Arus-Tegangan	15
Gambar 3.1	Skema Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3.2	Bahan yang Digunakan dalam (a) Sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ (b) Perakitan DSSC (c) Ekstrak Pewarna	21
Gambar 3.3	Sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ dengan Metode Sol-gel	23
Gambar 3.4	Ekstraksi <i>Dye</i> Kulit Manggis (a) Proses Pengadukan (b) Proses Penyaringan	23
Gambar 3.5	Pelapisan Pasta $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ pada Kaca TCO dengan menggunakan metode <i>doctor blade</i>	24
Gambar 3.6	Hasil Pelapisan $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ pada Kaca TCO	25
Gambar 3.7	Proses Perendaman Kaca TCO Berlapis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ ke dalam Larutan Pewarna	25
Gambar 3.8	Struktur <i>Sandwich</i> DSSC	26
Gambar 3.9	XRD Philips X'pert MPD	27
Gambar 3.10	Thermo Nicolet i510	28
Gambar 3.11	Horiba SZ-100	29
Gambar 3.12	Prinsip Kerja Zeta Potensial	30
Gambar 3.13	Hasil Pengujian Zeta Potensial	30
Gambar 3.14	Zetasizer Malvern	31
Gambar 3.15	Ilustrasi Korelasi Intensitas Terhadap Ukuran Partikel	32
Gambar 3.16	NOVA Quantachrome Instrument Version 10.01	32
		Hal

Gambar 3.17	Pengukuran Arus dan Tegangan	34
Gambar 3.18	Skema Pengukuran IPCE	35
Gambar 3.19	Pengujian IPCE	36
Gambar 4.1	Hasil Karakterisasi XRD $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$	37
Gambar 4.2	Hasil Karakterisasi FTIR $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$	38
Gambar 4.3	Hasil FTIR Sampel Konsentrasi AlCl_3 1,75 gr, 2,25 gr dan 2,5 gr pada Bilangan Gelombang 439 cm^{-1}	40
Gambar 4.4	Hasil Karakterisasi Zeta Potensial	41
Gambar 4.5	Hasil Karakterisasi PSA	43
Gambar 4.6	Distribusi Partikel <i>Core-Shell</i> (a) Pada Penelitian Yang (b) Pada Penelitian ini	44
Gambar 4.7	Kurva I-V DSSC	46
Gambar 4.8	Spektrum IPCE	48
Gambar 4.9	Karakterisasi BET	49
Gambar 4.10	Luas Permukaan Sampel Hasil Karakterisasi BET	50
Gambar 4.11	Volume Pori Hasil Karakterisasi BET	51
Gambar 4.12	Ukuran Pori Hasil Karakterisasi BET	51

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Sifat Fisik Struktur Al_2O_3	8
Tabel 4.1 Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$	39
Tabel 4.2 Hasil Karakterisasi Zeta Potensial	42
Tabel 4.3 Hasil Karakterisasi PSA	42
Tabel 4.4 Hasil Distribusi Partikel	43
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Intensitas Radiasi Cahaya Matahari Menggunakan <i>Pyranometer</i>	46
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran I-V	47
Tabel 4.7 Karakterisasi BET	50

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara umum telah diketahui bahwa bahan bakar fosil, sumber energi utama yang terbatas akan digantikan oleh energi terbarukan yang tidak mencemari lingkungan dengan biaya operasional yang lebih murah. Solar energi dengan kuantitasnya yang tidak terbatas dipercaya mampu menjadi salah satu alternatif sumber energi yang menjanjikan di masa depan. Hal ini didukung dengan ditemukannya DSSC (*Dye Sensitized Solar Cell*) oleh Professor M. Grätzel pada 1991, penemuan ini sangat menjanjikan karena proses pembuatannya yang murah, sekitar 1\$ per *peak* Watt (Grätzel, 2003). Harga ini 40% lebih murah dibandingkan fabrikasi menggunakan silikon. Di antara semikonduktor oksida, titanium dioksida (TiO_2), merupakan semikonduktor yang paling umum digunakan dalam DSSC. TiO_2 bersifat *inert*, tidak beracun, murah dan mempunyai *band gap* ($E_{\text{bg}} = 2.7\text{-}3.2$ eV) dengan indeks bias yang tinggi, sehingga memungkinkan untuk diaplikasikan (Tributsch, dkk, 2008). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metodologi dan kondisi eksperimen untuk mensintesis nanopartikel TiO_2 mempengaruhi morfologi untuk performa keseluruhan DSSC, dalam beberapa tahun terakhir, modifikasi permukaan partikel nano telah membentuk bidang penelitian baru dan mendorong studi pada tahap baru. Tujuan dari modifikasi permukaan nano partikel dapat diklasifikasikan ke dalam empat aspek, yaitu untuk meningkatkan atau mengubah nano-partikel, meningkatkan aktivitas permukaan nano-partikel, menciptakan efek fisika, kimia dan sifat mekanik bahan nanopartikel dan meningkatkan kompatibilitas nanopartikel dengan bahan lain (Liu, dkk, 2011). Pelapisan pada permukaan butir nano juga mengubah sifat-sifat material tersebut, pelapisan material bisa berupa material organik ataupun inorganik. Nano partikel dengan pelapis dengan penyusun kimia yang berbeda menyebabkan efek khusus, seperti kompatibilitas biologis, atau

sifat termal yang baik, sifat mekanik dan kimia yang stabil diikuti sifat optis, magnetis, elektrik, *hydrophilic*, dan *hydrophobic*.

Dari beberapa penelitian dilakukan modifikasi dengan menambahkan logam oksida. Lapisan TiO_2 nantinya akan dimodifikasi dengan menambahkan lapisan penghalang seperti Al_2O_3 , SrCO_3 , dan La_2O_3 . Modifikasi ini digunakan untuk meningkatkan efisiensi DSSC dengan mereduksi rekombinasi muatan di dalam fotoanoda (Meidan, dkk, 2015). Penggunaan Al_2O_3 sebagai lapisan oksida dapat meningkatkan efisiensi DSSC menjadi 35% (Palomares, dkk, 2003). Zhiping, dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa untuk mendapatkan material *core-shell* yang dilapisi dengan baik menggunakan konsentrasi AlCl_3 pada 0,040–0,050 gr/ml dan untuk menghindari aglomerasi karena terlalu banyak Al_2O_3 bebas yang akan berpengaruh pada kualitas pelapisan maka rasio *core* dan *shell* untuk Al_2O_3 dan TiO_2 berada di antara 10%-28% (Zhiping, 2011). Selain dapat mengurangi laju rekombinasi, pemilihan Al_2O_3 sebagai logam oksida yang akan dilapiskan pada TiO_2 disebabkan karena Al_2O_3 memiliki struktur kristal perovskite. Dimana struktur kristal ini memiliki bandgap yang lebar, sehingga memiliki kemampuan absorpsi cahaya yang baik. Material Al_2O_3 memiliki energi ikatan eksiton (elektron-*hole*) yang lemah, artinya eksiton tersebut dapat dipisahkan dengan cepat dan efisien untuk menghasilkan muatan listrik yang dapat bergerak bebas. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggunakan material berstruktur perovskite sebagai material sel surya, dimana efisiensi yang berhasil dicapai sebesar 19,3% (Savage, 2014).

Berdasarkan latar belakang di atas, maka pada tugas akhir ini akan diteliti tentang pengaruh konsentrasi AlCl_3 pada sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell powder* terhadap karakteristik *dye sensitized solar cell* (DSSC).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh konsentrasi AlCl_3 pada sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell powder* terhadap partikel *core-shell* $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$.
- b. Bagaimana pengaruh partikel yang diperoleh terhadap efisiensi *dye sensitized solar cell* (DSSC).

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk menganalisa pengaruh konsentrasi AlCl_3 pada sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell powder* terhadap partikel *core-shell* $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$.
- b. Untuk menganalisa pengaruh partikel yang diperoleh terhadap efisiensi *dye sensitized solar cell* (DSSC).

1.4 Batasan Masalah

Adapun batas ruang lingkup dari tugas akhir ini antara lain:

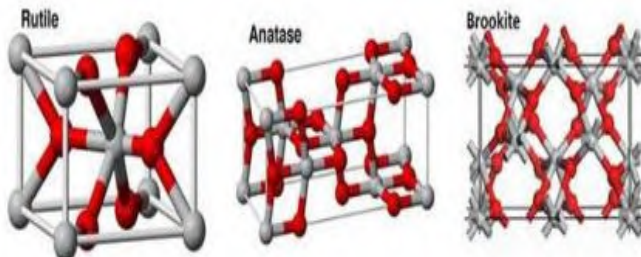
- a. *Dye* yang digunakan berasal dari kulit buah manggis.
- b. $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ yang digunakan merupakan hasil sintesis dengan menggunakan metode sol-gel.
- c. Pelapisan $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ pada kaca TCO menggunakan metode *doctor blade*.
- d. Proses sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell powder* menggunakan 6 variasi AlCl_3 yaitu 0,03 gr/ml, 0,035 gr/ml, 0,04 gr/ml, 0,045 gr/ml, 0,05 gr/ml dan 0,055 gr/ml.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II DASAR TEORI

2.1 Titanium Dioksida (TiO_2)

TiO_2 merupakan semikonduktor tipe-n yang banyak digunakan pada berbagai jenis aplikasi dan salah satunya adalah pada sel surya (Grätzel, 2003; Pandey dan Samandar 2006). TiO_2 memiliki stabilitas kimia yang baik saat terpapar cahaya matahari (Luque, 2003), TiO_2 stabil dalam sistem fotoelektrokimia, memiliki harga yang murah, tersedia dan tidak beracun (Olea, dkk, 1999). TiO_2 memiliki tiga struktur kristal *anatase*, *rutile* dan *brookite* tampak pada gambar 2.1. *Anatase* merupakan fase TiO_2 yang terbentuk ketika dikalsinasi pada suhu rendah, fase ini memiliki struktur *tetragonal* dengan densitas sebesar 3830 kg/m^3 . Untuk fase *rutile* didapatkan ketika dikalsinasi pada suhu tinggi, fase ini memiliki struktur *tetragonal* dengan densitas sebesar 4240 kg/m^3 . Sedangkan *brookite* merupakan fase yang sulit ditemukan, fase *brookite* memiliki struktur *rhombohedral* dengan densitas sebesar 4170 kg/m^3 .



Gambar 2.1 Struktur kristal rutile, anatase dan brookite (Woodley, 2009)

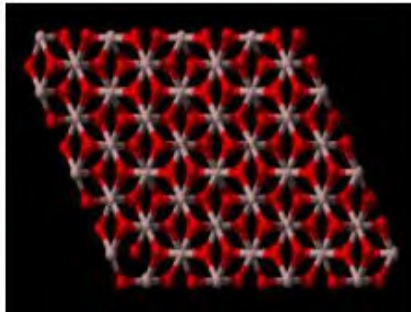
TiO_2 memiliki *band gap* sebesar $>3,00 \text{ eV}$ sehingga mampu menyerap energi foton sebagian besar spektrum cahaya matahari. *Band gap* TiO_2 *rutile* adalah $3,0 \text{ eV}$ setara dengan energi cahaya pada panjang gelombang 413 nm , sedangkan *band gap* dari TiO_2 anatase adalah $3,2 \text{ eV}$ setara dengan energi cahaya pada panjang

gelombang 388 nm (Yuwono, dkk. 2011). Semikonduktor ini memiliki pita konduksi yang cocok dengan antosianin yang terkandung dalam pewarna. Hal tersebut merupakan kondisi yang sangat penting karena berkaitan dengan injeksi elektron dari pewarna ke semikonduktor. Indeks bias yang tinggi pada TiO_2 menyebabkan hamburan yang efisien dari cahaya di dalam fotoelektroda sehingga meningkatkan penyerapan cahaya (Naraya, 2011).

Untuk mendapatkan Titanium dioksida (TiO_2) dapat dilakukan dengan menggunakan metode sintesis *hydrothermal*, metode *co-precipitation*, metode sol gel (Wu, dkk, 2008), metode sonokimia (Timuda, 2010) dan metode *solvothermal* (Kim, dkk, 2005).

2.2 Aluminium Oxide (Al_2O_3)

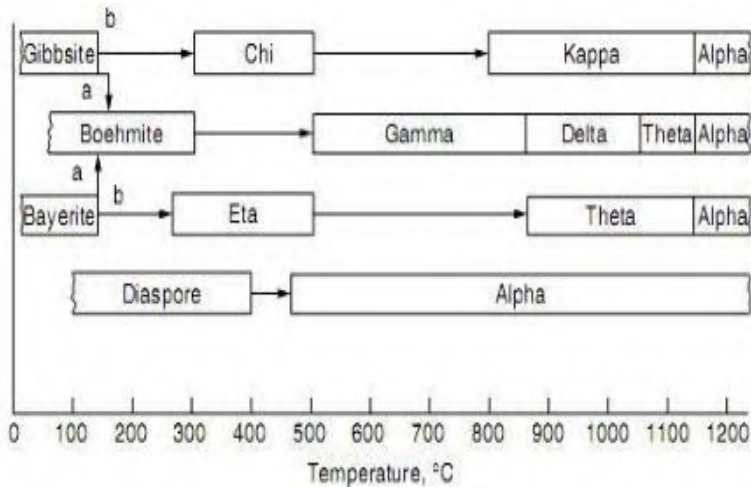
Al_2O_3 secara alami terdiri dari mineral korundum, dan memiliki bentuk kristal seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur kristal mineral korundum Al_2O_3 (Hudson, dkk, 2002)

Al_2O_3 memiliki sifat relatif keras, transparan, relatif stabil pada suhu tinggi, memiliki titik leleh yang tinggi, konduktivitas listrik yang rendah sehingga bersifat isolator, memiliki luas permukaan yang besar, dan berpori (Gangwar,

dkk, 2011). Struktur kristal Al_2O_3 memiliki dua fasa yaitu fasa stabil dan fasa metastabil. Fasa metastabil Al_2O_3 meliputi $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\kappa\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\sigma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan $\eta\text{-Al}_2\text{O}_3$. Sedangkan fasa stabil Al_2O_3 berupa $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Gangwar, dkk, 2015). Fasa metastabil diperoleh dengan proses kalsinasi pada suhu rendah yaitu $250\text{-}800^\circ\text{C}$ sedangkan pada fasa stabil didapatkan pada suhu kalsinasi $>1000^\circ\text{C}$.



Gambar 2.3 Grafik transformasi fasa alumina (Yang, 2003)

Fasa $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ memiliki sifat inert, keras dan memiliki titik leleh tinggi. Pada fasa $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ memiliki luas permukaan dan pori-pori yang lebih besar dari $\eta\text{-Al}_2\text{O}_3$, namun $\eta\text{-Al}_2\text{O}_3$ bersifat lebih asam dari $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ merupakan kelompok Al_2O_3 aktif yang paling banyak digunakan sebagai katalis dan adsorben. Hal ini disebabkan karena $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ mempunyai luas permukaan yang besar $150\text{-}300\text{ m}^2/\text{g}$, volume pori sebesar $0/511\text{ cm}^3/\text{g}$ dan diameter pori $3\text{-}12\text{ nm}$, serta stabil dalam proses katalis.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Struktur Al_2O_3 (Gangwar, dkk, 2015)

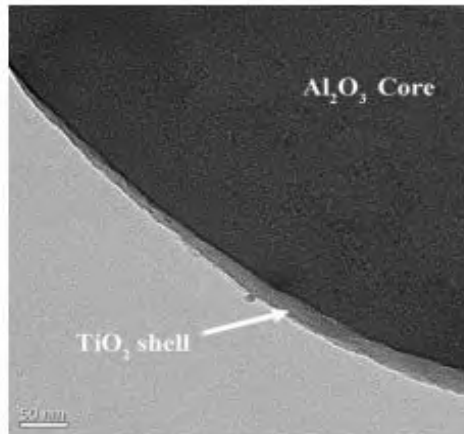
Fasa Alumina	Struktur Kristal	Parameter Kisi						E_g (eV)
		a (°A)	b (°A)	c (°A)	α	β	γ	
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	Hexagonal	4,75	4,75	12,9	90°	90°	120°	9,50
$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	Kubik	7,92	7,92	7,92	90°	90°	90°	4,40
$\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$	Tetragonal	5,02	5,02	9,86	90°	90°	90°	
$\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$	Monoclinik	11,8	4,75	5,62	90°	103°	90°	5,04
$\iota\text{-Al}_2\text{O}_3$	Orthorhombik	7,73	7,61	2,92	90°	90°	90°	3,00
$\kappa\text{-Al}_2\text{O}_3$	Orthorhombik	3,7	12,2	2,86	90°	90°	90°	5,49
$\sigma\text{-Al}_2\text{O}_3$	Kubik	7,94	7,94	7,94	90°	90°	90°	

Untuk mendapatkan aluminium oxide (Al_2O_3) dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti metode sol gel, metode *hydrothermal*, metode bayer (Gangwar, dkk, 2015).

2.3 $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ Core-Shell

$\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ core-shell didapatkan dengan menggunakan metode sol gel (Chen, dkk, 2009), metode *hydrothermal* (Zhiping, 2011), metode *microwave-combustion*, metode deposisi uap kimia. $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ dengan struktur *core-shell* merupakan salah satu metode pembuatan DSSC yang terbaik karena Al_2O_3 merupakan salah satu lapisan oksida yang dapat ditambahkan dalam semikonduktor sebagai lapisan penghalang, dimana dari penambahan ini akan meningkatkan nilai efisiensi DSSC dengan mereduksi rekombinasi muatan di dalam fotoanoda (Meidan, dkk, 2015), Al_2O_3 memiliki *band gap* sebesar 3-9.5 eV, dan konstanta dielektrik yang tinggi menyebabkan Al_2O_3 memiliki perlindungan elektrostatik yang baik pada injeksi elektron dari molekul pewarna teroksidasi yang melekat pada $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$, sehingga mencegah rekombinasi sebelum reduksi pewarna oleh elektrolit

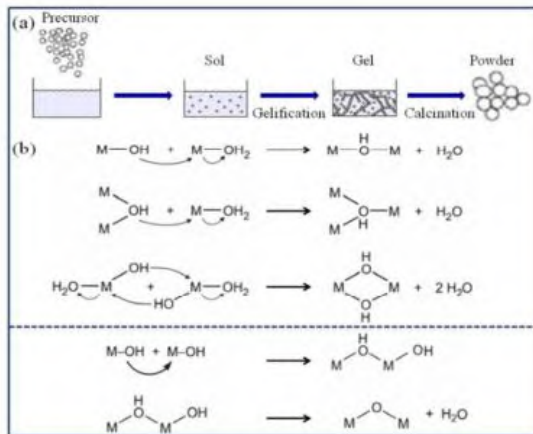
redoks. Sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell* dengan menggunakan metode sol gel didapatkan ukuran *core* sebesar ~200 nm tebal lapisan yang tidak seragam, berkisar ~20nm (Yang, 2015)



Gambar 2.4 Struktur *core-shell* pada $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ (Yang, 2015)

2.4 Metode Sol-gel

Pada proses sol-gel, prekursor molekular dirubah menjadi partikel berukuran nano untuk membentuk suspensi koloid atau sol. Nanopartikel koloid ini kemudian berikatan satu dengan yang lain melalui proses polimerisasi untuk membentuk gel. Polimerisasi membuat proses difusi kimia terus meningkat kemudia gel tersebut dikeringkan dan dikalsinasi untuk menghasilkan bubuk. Kualitas dari bubuk menggunakan proses sol-gel sangat berkaitan dengan kecepatan proses hidrolisis dan kondensasi. Metode sol gel merupakan metode yang memungkinkan untuk dapat mengatur proses pencampuran molekular. Karena dalam prosenya, metode ini melibatkan larutan sebagai media, maka terdapat beberapa keunggulan yang dimiliki dalam hal kemurnian, kehomogenan, kemudahan proses dan pengaturan komposisi. Melalui proses sol-gel, proses penumbuhan dari partikel dapat secara efektif dikontrol melalui proses hidrolisis dan kondensasi



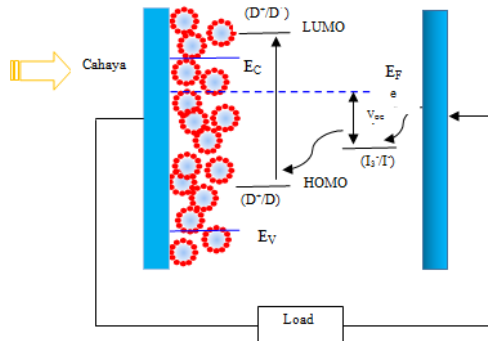
Gambar 2.5 Metode sol gel (a) representasi sintesis kimia (b) mekanisme reaksi pembentukan (Gangwar, dkk, 2015)

2.5 Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)

Dye sensitized solar cell (DSSC) adalah devais konversi energi cahaya tampak ke energi listrik berdasarkan sensitivitas dari lebar *band gap* semikonduktor (Wongcharee, dkk, 2006). DSSC memiliki kelebihan yaitu ramah lingkungan, biaya pembuatannya murah dan mudah dibandingkan dengan sel surya konvensional (Lee, dkk., 2011). Hal yang paling membedakan di antara semua semikonduktor solar sel konvensional yaitu DSSC merupakan solar sel fotoelektrokimia yang menggunakan elektrolit cair atau fasa konduksi ion lain sebagai media transportasi muatan (Halme, 2002).

Prinsip kerja dari DSSC disetarakan dengan proses sintesis pada tumbuhan karena pewarna difungsikan sebagai pengumpul cahaya untuk memproduksi elektron tereksitasi, lapisan semikonduktor menggantikan peran karbon dioksida (CO_2) sebagai aseptor elektron, iodide/tiiodide menggantikan air dan oksigen sebagai donor elektron, produksi oksidasi dan struktur

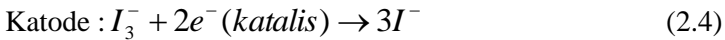
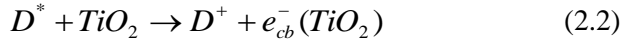
multilayer untuk menaikkan absorpsi cahaya dan efisiensi pengumpulan elektron (Agustini, 2013).



Gambar 2.6 Skema proses fotoelektrokimia pada DSSC

Foton akan diserap oleh molekul pewarna yang ada di permukaan semikonduktor titanium dioksida dan elektron akan tereksitasi (D^*) dari tingkat *highest occupied molecular orbital* (HOMO) ke tingkat *lowest unoccupied molecular orbital* (LUMO) ketika molekul pewarna menyerap sejumlah foton dengan energi yang sesuai. Setelah itu elektron akan diinjeksikan ke semikonduktor titanium dioksida dan meninggalkan pewarna (D^+). Kemudian elektron menuju kontak pada sisi bagian belakang yang terbuat dari *transparent conducting oxide* (TCO) (elektroda negatif/anoda), dari TCO elektron menuju ke sirkuit eksternal dan akhirnya menuju ke elektroda lawan (elektroda positif/katoda). Setelah dari elektroda lawan, elektron ditransfer ke elektrolit triiodide dan menghasilkan iodine, siklus ditutup dengan proses reduksi yang dialami pewarna yang teroksidasi oleh iodine dalam elektrolit (Halme, 2002). Beda potensial yang dihasilkan oleh sel ditentukan oleh perbedaan antara energi potensial pasangan elektrolit redoks dan energi Fermi dari TiO_2 . Semakin kecil pemisahan energi antara HOMO dan LUMO menunjukkan terjadi penyerapan foton energi rendah dalam

spektrum matahari. Siklus operasi yang terjadi pada DSSC dalam bentuk reaksi kimia adalah sebagai berikut :



2.6 Komponen DSSC

Material yang digunakan untuk membuat DSSC (*dye sensitized solar cell*) dibagi menjadi lima bagian, yaitu substrat, lapisan seng oksida, *dye* (pewarna), elektrolit dan katalis *counter electrode*. Peran substrat adalah sebagai tempat melekatnya semikonduktor dan jalan lewatnya cahaya, lapisan seng oksida sebagai semikonduktor anorganik tempat terjadinya muatan listrik yang memiliki celah pita energi yang besar, *dye* (pewarna) adalah *sensitizer* sebagai penyerap cahaya. *Sensitizer* dapat berupa pewarna alami ataupun pewarna buatan. Kemudian elektrolit sebagai medium transfer dan penghasil reaksi reduksi-oksidasi dalam sel, serta katalis *counter electrode* sebagai elektroda pembanding untuk membantu perpindahan elektron.

2.6.1 Semikonduktor oksida

Semikonduktor oksida yang digunakan untuk DSSC adalah $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell* seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.3.

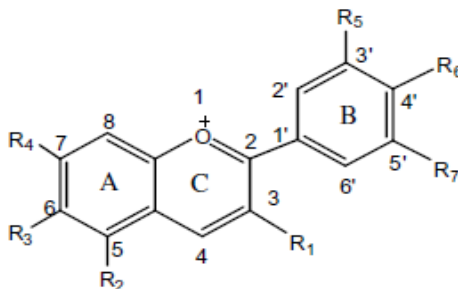
2.6.2 Fotosensitizer dari pewarna organik

Fotosensitizer pada DSSC digunakan untuk mengadsorpsi foton dari cahaya matahari. Sebuah *fotosensitizer* yang digunakan harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- Menyerap cahaya pada daerah cahaya tampak.
- Terabsorpsi pada permukaan semikonduktor secara kuat.
- Menginjeksikan elektron dalam pita konduksi semikonduktor oksida secara efisien.

- Memiliki beberapa gugus =O atau –OH.
- Memiliki stabilitas fisika dan kimia yang baik, khususnya kestabilan pada panas yang tinggi.
- Level energi dari pewarna/*fotosensitizer* harus sesuai dengan semikonduktor dan elektrolit yang digunakan (Sidik, 2014).

Hingga saat ini, pewarna yang mampu memproduksi efisiensi tertinggi adalah *Ruthenium complex* yang mencapai 11-12% (Chiba, dkk., 2006). Pigmen pewarna pada tanaman sebagai *fotosensitizer* adalah *Betacyanins*, *Carotenes*, *Xanthophylls*, *Chlorophyll* dan *Anthocyanins* (Narayan, 2011). Dari berbagai jenis pigmen tanaman yang sering digunakan sebagai *fotosensitizer* adalah *Anthocyanins*, yang memberikan warna merah, biru dan ungu pada buah, bunga, sayur dan daun (Ngo, dkk., 2009).



Gambar 2.7 Struktur *Anthocyanins* (Ovando, dkk., 2008)

Anthocyanins termasuk keluarga pigmen *Flavonoid*, *Flavonoid* sendiri merupakan pigmen yang dapat menyerap cahaya pada panjang gelombang yang besar (Narayan, 2011). Gambar 2.7 adalah struktur *anthocyanin* secara umum.

2.6.3 Elektrolit

Kerapatan arus *short circuit* (J_{sc}) dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) sangat bergantung pada elektrolit. Elektrolit yang biasa digunakan adalah iodine (I^-) dan triiodide (I_3^-) sebagai pasangan

redoks karena menghasilkan performansi yang paling baik. Karakteristik ideal dari pasangan redoks untuk elektrolit DSSC antara lain,

- Secara termodinamika, potensial redoksnya berlangsung sesuai dengan potensial redoks dari pewarna untuk tegangan sel maksimal.
- Kelarutannya tinggi terhadap pelarut untuk mendukung konsentrasi yang tinggi dari muatan pada elektrolit.
- Pelarut memiliki koefisien difusi yang tinggi untuk transportasi massa yang efisien.
- Tidak ada karakteristik spektral pada daerah cahaya tampak untuk menghindari absorpsi cahaya datang pada elektrolit.
- Kestabilan yang tinggi baik dalam bentuk tereduksi maupun teroksidasi, khususnya pada suhu yang tinggi.
- Secara kimia harus inert terhadap komponen lain pada DSSC (Wolfbauer, dkk., 2001 dan Halme, 2002).

2.6.4 Counter elektroda

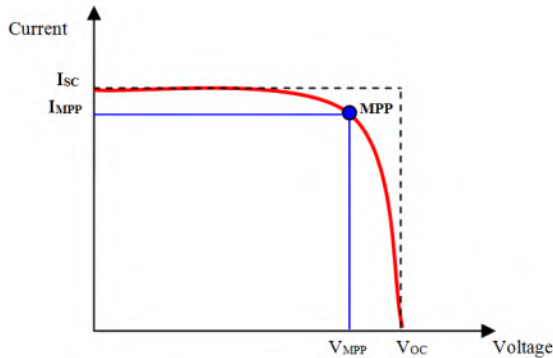
Elektroda lawan digunakan untuk membantu elektron dari rangkaian eksternal kembali ke elektrolit redoks. Maka harus terbuat dari bahan yang memiliki resistansi rendah untuk perpindahan elektron dan kerapatan arus tinggi (Narayan, 2011).

Untuk mempercepat reaksi pada kaca TCO, dibutuhkan sebuah katalis. Katalis yang sering digunakan adalah *platinum*, karena *platinum* merupakan katalis yang sangat bagus untuk mereduksi triiodide. Tetapi platina merupakan material yang harganya mahal, oleh karena itu elektroda platina bisa diganti dengan elektroda karbon.

2.7 Performansi DSSC

Pengukuran arus (I) dan tegangan (V) ini dilakukan untuk mencari besarnya nilai efisiensi (η) pada persamaan (2.8), *fill factor* (FF) pada persamaan (2.6) dan daya maksimum (P_{\max}) dengan menggunakan persamaan (2.7) dari suatu sel surya yang

direpresentasikan dalam bentuk kurva arus-tegangan (I-V) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Pada pengukuran ini, daya listrik yang dihasilkan ketika sel surya mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan sel surya tersebut dalam mendapatkan tegangan dan arus ketika diberi beban pada waktu yang sama.



Gambar 2.8 Kurva arus-tegangan (I-V) pada DSSC (Ito, dkk, 2007)

Prinsip kerja dari Gambar 2.8 adalah ketika keluaran sel surya tidak terhubung dengan beban (*open circuit*) maka tidak ada arus yang mengalir dan tegangan pada sel surya berada pada nilai maksimum yang disebut juga tegangan *open circuit* (V_{oc}). Sebaliknya pada saat keluaran sel surya dihubungkan (short circuit) maka arus bernilai maksimum (I_{sc}). Selain itu terdapat nilai tegangan maksimum (V_{mp}) dan arus maksimum (I_{mp}) yang menghasilkan nilai daya maksimum (P_{max}). Sedangkan *maximum power point* (M_{pp}) adalah titik dimana nilai arus dan tegangan menghasilkan daya yang paling besar dengan menggunakan persamaan eksponensial (2.5) yang didapat dari *fitting* pengukuran eksponensial pada origin :

$$y = y_0 + A \cdot \exp(R_0 x) \quad (2.5)$$

Dari hasil tersebut dapat diperoleh besaran nilai efisiensi (η), *fill factor* (FF) dan daya maksimum (P_{\max}) dari persamaan berikut :

$$FF = \frac{V_{mpp}.I_{mpp}}{V_{oc}.I_{sc}} \quad (2.6)$$

Dengan menggunakan persamaan *fill factor* (FF) maka didapatkan nilai daya maksimum dari persamaan berikut :

$$P_{\max} = V_{oc}.I_{sc}.FF \quad (2.7)$$

Sehingga efisiensi sel surya dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{cahaya}}} = \frac{V_{oc}.I_{sc}.FF}{P_{\text{cahaya}}} \quad (2.8)$$

Pemodelan matematis sel DSSC dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimasi. Hal tersebut dilakukan dengan menampilkan rangkaian ekuivalen DSSC dimana parameternya dihitung berdasarkan data-data pengukuran (berdasarkan penelitian) pengukuran arus dan tegangan dengan menggunakan persamaan (2.9) (Syukron, 2013; Mahendra, 2015).

$$I(V) = I_L - I_0(e^{\frac{V_f}{mV_T}} - 1) \quad (2.9)$$

2.8 Perhitungan *Incident Photon to Current Conversion Efficiency* (IPCE)

Incident photon to current conversion efficiency (IPCE) digunakan untuk mengukur seberapa besar efisiensi sebuah sampel mengubah cahaya yang datang menjadi energi listrik pada suatu panjang gelombang tertentu. Prinsip pengukuran IPCE ini yaitu dengan menyinari suatu sampel dengan cahaya monokromatis dan mencatat perubahan arus listriknya ketika panjang gelombang sumber cahaya diubah-ubah. Sehingga terbentuk hubungan arus dan panjang gelombang per satuan luasan. Secara umum, perhitungan IPCE menggunakan persamaan (2.10) (Varghese, dkk, 2008).

$$IPCE (\%) = \frac{1240 (eV.nm) \times J_{sc} (\mu A.cm^{-2})}{\lambda (nm) \times P_{\text{incident light}} (\mu W.cm^{-2})} \quad (2.10)$$

dengan :

1240 = Faktor konversi cahaya ke arus

J_{sc} = Kerapatan arus ($\mu A\ cm^{-2}$)

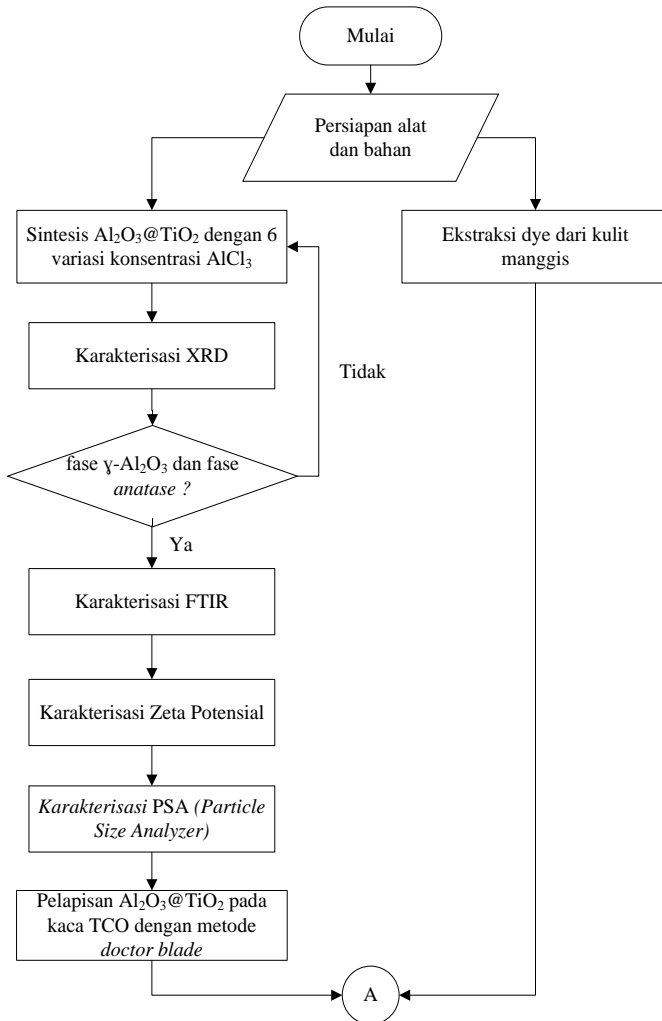
λ = Panjang gelombang yang diubah-ubah pada monokromator (nm),

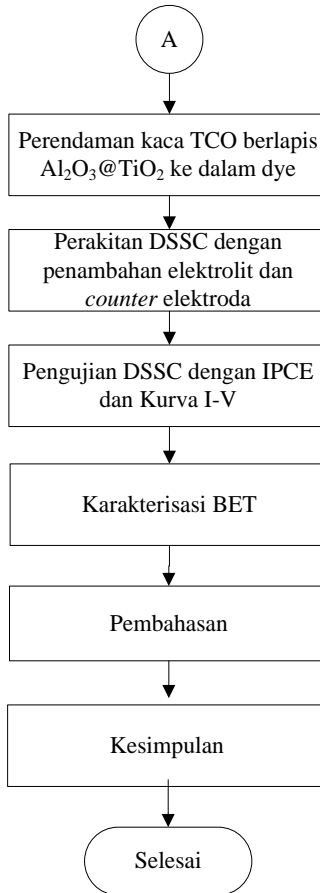
P_{cahaya} = Daya yang diukur pada setiap panjang gelombang ($\mu W\ cm^{-2}$).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 3.1 merupakan diagram alir penelitian yang dilakukan:





Gambar 3.1 Skema diagram alir penelitian

3.1 Alat dan Bahan

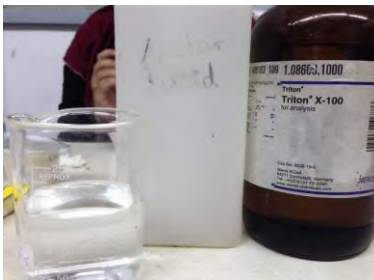
Pada penelitian ini alat yang digunakan meliputi *magnetic stirrer type Yellow Mag HS7*, spatula, pipet, gelas ukur, gelas kimia, *mortar*, kaca *transparent conducting oxide* (TCO), *furnace*, multimeter.

Bahan yang dibutuhkan untuk melakukan sintesis Al₂O₃@TiO₂ adalah *aluminium chloride* (AlCl₃), *titanium*

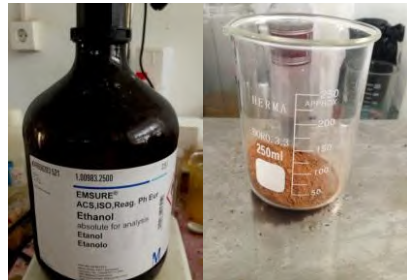
tetrachloride (TiCl_4), ethanol 96%, ammonia (NH_4OH) dan Tween 80. Bahan yang digunakan untuk ekstrak pewarna adalah bubuk kulit manggis dan ethanol 96%. Bahan yang diperlukan untuk membuat elektrolit adalah KI, *acetonitril*, I_2 , PEG dan *kloroform*. Sedangkan bahan yang dibutuhkan untuk perakitan DSSC adalah CH_3COOH 98%, Triton X-100 dan *aquades*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.2 Bahan yang digunakan dalam (a) sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ (b) perakitan DSSC (c) ekstrak pewarna

3.2 Sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ Core-Shell Powder

Sintesis nanopartikel $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ menggunakan metode sol-gel dengan tahapan sebagai berikut :

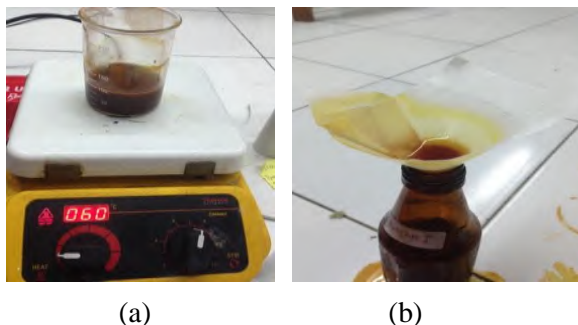
- a. Larutan A : sebanyak 1,5 gr, 1,75 gr, 2 gr, 2,5 gr dan 2,75 gr AlCl_3 dicampur dengan ethanol hingga menghasilkan 50 ml larutan. Kemudian ditambahkan 20 ml ammonia ke dalam larutan, dimana penambahan ammonia dilakukan setiap menit sebanyak 2,5 ml. Proses pencampuran ini diikuti dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 60 rpm selama 1 jam hingga membentuk sol berwarna putih tidak tembus pandang.
- b. Larutan B : 0,01 ml TiCl_4 dicampur dengan ethanol hingga menghasilkan 50 ml dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu ruang.
- c. Setelah satu jam pengadukan pada larutan A, larutan B ditambahkan secara perlahan (tetes demi tetes) dengan menggunakan pipet, serta ditambahkan 1 vol% Tween 80 yang berperan sebagai dispersan. Kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam pada suhu ruang.
- d. Setelah satu jam, proses dihentikan dan larutan dibiarkan mengendap.
- e. Selanjutnya, endapan dicuci dengan menggunakan ethanol dan *aquades* secara bergantian hingga endapan tidak berbau.
- f. Kemudian endapan ditempatkan pada *crucible* dan dikalsinasi pada suhu 240°C selama 1 jam untuk mendapatkan fase $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan fase *anatase*.
- g. Setelah $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ dikalsinasi, serbuk $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ dihaluskan dengan menggunakan mortar.



Gambar 3.3 Sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ menggunakan metode sol gel

3.3 Ekstraksi Pewarna Alami Kulit Manggis

Dye yang digunakan pada penelitian ini adalah ekstrak kulit manggis. Kulit manggis dikeringkan dengan bantuan sinar matahari atau menggunakan *furnace*. Kemudian kulit manggis yang sudah kering dihaluskan menggunakan *blender* hingga menjadi bubuk. Sebanyak 10 gr bubuk kulit manggis dilarutkan dalam 50 ml ethanol 96% dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 60°C selama 30 menit. Larutan yang telah diaduk didinginkan selama 20 menit kemudian disimpan di dalam botol gelap selama 7 hari. Selanjutnya saring larutan tersebut menggunakan kertas saring dan simpan kembali ke dalam botol gelap (Agustini, 2013).

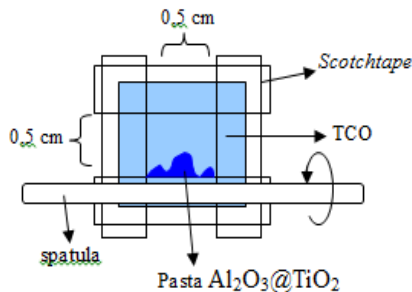


Gambar 3.4 Ekstraksi *dye* kulit manggis (a) proses pengadukan
(b) proses penyaringan

3.4 Preparasi Fotoelektroda $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$

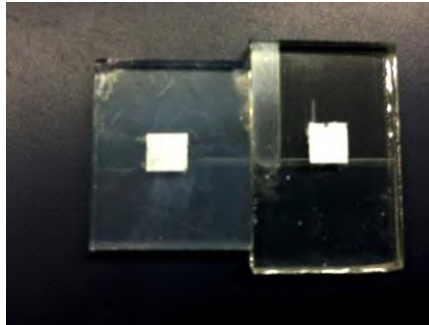
Preparasi fotoelektroda meliputi pembuatan pasta $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$. Pembuatan pasta $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ dilakukan dengan cara melarutkan 2 gram bubuk $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ dengan 0,7 ml aquades. Kemudian ditambahkan 1 ml CH_3COOH sambil terus dicampur hingga rata. Dan untuk meningkatkan penyebaran substrat koloid pada kaca TCO ditambahkan 0,1 ml Triton X-100.

Untuk melapiskan pasta $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$, kaca TCO harus dibersihkan terlebih dahulu menggunakan ethanol 96%, selanjutnya sisi-sisi kaca dilapisi menggunakan *scotch tape* dengan membiarkan 0,5 x 0,5 cm tetap terlihat. Bagian tengah pada kaca TCO yang tidak terlapisi ini yang akan dilapisi pasta $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$. Pelapisan pasta pada kaca TCO menggunakan metode *doctor blade*.



Gambar 3.5 Pelapisan pasta $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ pada kaca TCO dengan menggunakan metode *doctor blade*

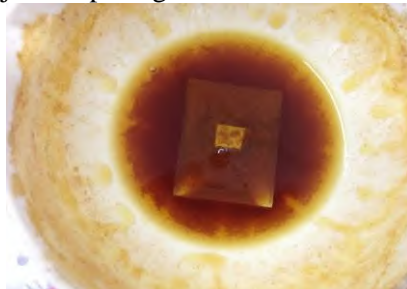
Prinsip pelapisannya adalah pasta $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ diletakkan diatas kaca TCO, kemudian ditekan menggunakan spatula sambil digulung sampai lapisan $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ rata dipermukaan TCO. Pada pelapisan tersebut terdapat enam variasi konsentrasi AlCl_3 yaitu 1,5, 1,75, 2, 2,25, 2,5, 2,75 gr. Setelah tahap pelapisan, kaca TCO yang sudah terlapisi $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *disintering* pada suhu 225°C selama 2 menit dengan menggunakan *hot plate* (Agustini, 2013). Dan hasilnya seperti pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Hasil pelapisan $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ pada kaca TCO

3.5 Perendaman Kaca TCO berlapis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ di Larutan Pewarna

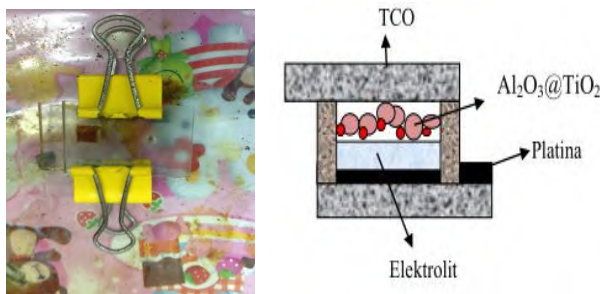
Setelah kaca TCO yang berlapis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *disintering*, kemudian kaca TCO tersebut direndam dalam pewarna kulit manggis. Sebanyak 15-20 ml selama 12 jam, hal ini bertujuan supaya $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ dapat menyerap pewarna dengan baik, sehingga foton yang diserap oleh DSSC semakin banyak dan efisiensi dari DSSC semakin besar (Wahyuono, 2013). Proses perendaman ditunjukkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Proses perendaman kaca TCO berlapis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ ke dalam larutan pewarna

3.6 Perakitan DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*)

DSSC dirakit menyerupai struktur *sandwich* seperti pada gambar 3.8. Kaca TCO yang sudah dilapisi $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ dan pewarna direkatkan dengan kaca TCO berlapis katalis dengan menggunakan penjepit, kemudian diantara celah kedua kaca diberi elektrolit iodine (I^-) dan triiodide (I_3^-) sebagai pasangan redoks. Elektrolit yang digunakan adalah elektrolit gel. Elektrolit ini dibuat dengan melarutkan 0,8 gram KI (0,5M) ke dalam *acetonitril* kemudian ditambahkan 0,127 gram I_2 (0,05M). Larutan tersebut diaduk bersama dengan gel yang terbuat dari 7 gram PEG (Polietilene glikol) dan 25 ml *kloroform* pada temperatur 80°C selama satu jam (Wahyuono, 2013; Agustini 2013).



Gambar 3.8 Struktur *sandwich* DSSC

3.7 Karakterisasi Material $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$

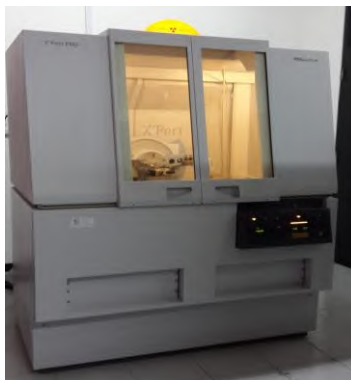
Hasil sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ dilakukan karakterisasi, *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR), Zeta Potensial, *Particle Size Analyzer* (PSA), *Brunauer Emmet Teller* (BET) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS).

3.7.1 *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi XRD digunakan untuk mengetahui tingkat kristalin dan fase yang terbentuk dari suatu bahan dalam penelitian ini adalah Al_2O_3 dan TiO_2 . Pengujian XRD ini

menggunakan alat Philips X'pert MPD (30 kV, 40 MA) di Laboratorium XRD Jurusan Teknik Material ITS (Gambar 3.9). Sudut yang digunakan dalam pengujian XRD ini yaitu sudut 15° hingga 80° .

Prinsip kerja XRD adalah sinar-X ditembakkan pada sampel uji, kemudian terjadi hamburan setelah bertumbukan dengan atom kristal dari sampel uji. Objek dan detektor berputar untuk merekam intensitas refleksi sinar X hasil refleksi dari tembakan, dan mengolahnya dalam bentuk grafik. Hasil dari pengujian XRD menghasilkan grafik yang berupa besar intensitas terhadap sudut difraksi (2θ). Dari sudut difraksi tersebut, dapat diketahui jenis material yang terkandung di dalam sampel uji. Dari grafik tersebut juga dapat dilihat puncak difraksi, dimana setiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak yang didapatkan dari data pengukuran dapat dicocokkan dengan standart difraksi sinar-X Al_2O_3 dan TiO_2 untuk mengetahui fase yang dihasilkan yaitu *Joint Committee on Power Diffraction Standart* (JCPDS) 29-0063 untuk $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, 11-0517 untuk $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3$, 46-1212 untuk $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, 00-021-1272 untuk *anatase*, 00-021-1276 untuk *rutile*, dan 00-029-1360 untuk *brookite*.



Gambar 3.9 XRD Philips X'pert MPD

Dengan menggunakan suhu 240°C pada sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell* maka fase yang akan didapatkan pada karakterisasi XRD adalah TiO_2 anatase dan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

3.7.2 *Fourier transforms infrared spectroscopy (FTIR)*

Fourier Transforms Infrared Spectroscopy (FTIR) digunakan untuk mengetahui gambaran dan struktur molekul suatu senyawa pada sampel dan dapat juga digunakan untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari sampel. Pengujian FTIR ini menggunakan alat Thermo Nicolet i510 yang terdapat di Jurusan Material Metalurgi ITS (Gambar 3.10) dengan region $400 - 4000\text{ cm}^{-1}$. Pengukuran dilakukan pada temperatur ruang dan kristal KBr digunakan sebagai matriks (perbandingan massa antara sampel dengan KBr adalah m 1:100).

Prinsip kerja FTIR adalah dengan meradiasikan sinar inframerah ke sampel yang akan diuji. Sinar inframerah ini nantinya akan diserap atau diteruskan oleh sampel sehingga akan ada perbedaan intensitas spektrum yang ditangkap oleh detektor. Hasil spektrum akan diolah menggunakan *Fourier Transforms* sehingga dihasilkan grafik cahaya yang ditransmisikan terhadap bilangan gelombang.



Gambar 3.10 Thermo Nicolet i510

3.7.3 *Zeta potensial*

Zeta potensial merupakan teknik analisa yang digunakan untuk menentukan muatan permukaan pada larutan nanopartikel.

Pengujian Zeta potensial ini menggunakan alat Horiba SZ-100 yang terdapat di Laboratorium Teknologi Farmasi UII Yogyakarta (Gambar 3.11). Pengujian Zeta potensial dilakukan dengan pengenceran 1000 kali dengan menggunakan aquades sebagai larutan pendispersi. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali dan mendapatkan hasil seperti pada gambar 3.13.

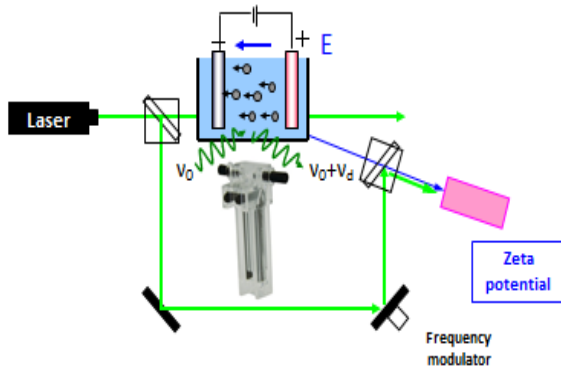


Gambar 3.11 Horiba SZ-100

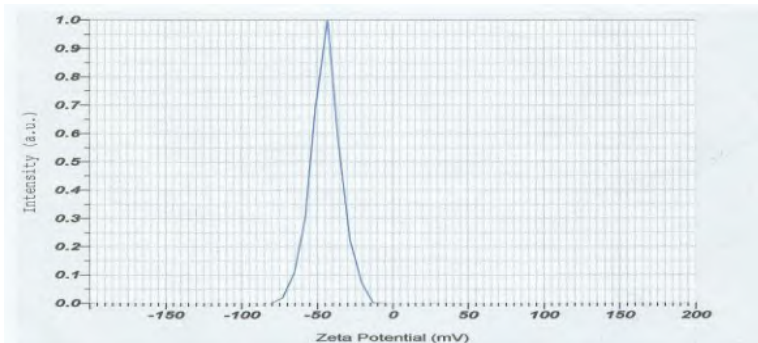
Pengukuran zeta potensial menggunakan prinsip *Laser Doppler Electrophoresis* dengan mengukur pergeseran frekuensi dari hamburan sinar laser akibat partikel bermuatan pengaruh dari medan listrik. Prinsip kerja pengukuran zeta potensial (Gambar 3.12) adalah dengan menembakkan laser pada partikel yang bergerak akibat adanya voltase yang diberikan pada dua lempengan dan menimbulkan medan listrik. Ketika suatu medan listrik diberikan, partikel bergerak karena interaksi antara muatan partikel dan muatan medan yang diberikan. Partikel tersebut akan bergerak menuju ke arah muatan yang berlawanan, pergerakan partikel ini akan menyebabkan pergeseran frekuensi dari hamburan sinar laser ($v_o + v_d$). Hamburan sinar laser yang dihasilkan kemudian ditangkap oleh detektor.

Dalam pengukuran zeta potensial perlu dilakukan terlebih dahulu pendispersian sampel, dimana hasil pendispersian tidak boleh terlalu pekat (*high concentration*) dan terlalu encer (*low concentration*). Ketika hasil dispersi terlalu pekat akan menyebabkan terjadinya hamburan ganda dari sinar laser,

sedangkan ketika hasil dispersi terlalu encer maka akan menyebabkan adanya *noise* saat sinyal ditangkap oleh detektor sehingga menghasilkan data yang tidak valid.



Gambar 3.12 Prinsip kerja zeta potensial (Horiba, 2016)



Gambar 3.13 Hasil pengujian zeta potensial

3.7.4 Particle size analyzer (PSA)

Particle size analyzer (PSA) merupakan suatu karakterisasi material yang digunakan untuk mengetahui ukuran partikel dan distribusi dari sampel yang representatif. Pengujian PSA pada penelitian ini dilakukan menggunakan *particle size analyzer*

(PSA) seri Zetasizer Malvern (Gambar 3.14) yang terdapat di Jurusan Fisika ITS. Pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali. Dilakukan pendispersian sampel terlebih dahulu menggunakan aquades sebelum dilakukan pengujian PSA.



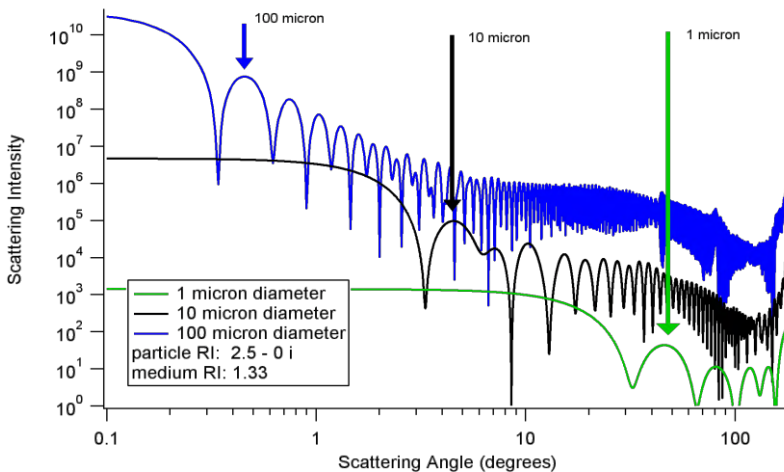
Gambar 3.14 Zetasizer Malvern

Prinsip kerja zetasizer Malvern adalah menggunakan prinsip *Dynamic Light Scattering* (DLS). Partikel akan dilewati oleh sinar laser dimana akan terjadi penghamburan cahaya. Hamburan tersebut ditangkap pada sudut-sudut tertentu di sisi depan partikel. Sudut difraksi dan intensitas yang didapat berkorelasi terhadap ukuran partikel dan distribusi partikel. Umumnya, partikel yang lebih besar akan menghasilkan hamburan yang lebih kuat pada sudut kecil.

Dari penggunaan prinsip DLS maka terdapat beberapa asumsi dalam pengukuran ini, seperti:

- Semua partikel adalah *spherical* dan homogen secara optik
- Partikel bersifat bebas, dalam hal ini partikel mengalami gerak acak dalam suatu pelarut dapat disebut dengan Gerak *Brownian*

- c. Tidak terjadi interaksi antar partikel (terdispersi secara sempurna dimana antar partikel memiliki jarak yang berjauhan)



Gambar 3.15 Ilustrasi korelasi intensitas terhadap ukuran partikel (Malvern, 2010)

3.7.5 Brunauer emmet teller (BET)

Pengujian BET (*Brunauer Emmet Teller*) digunakan untuk mengetahui luas permukaan, volume pori, dan diameter pori dari serbuk $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ yang telah diaplikasikan pada DSSC dengan efisiensi terbaik dan terburuk. Pengujian BET pada penelitian ini menggunakan alat NOVA Quantachrome Instrument Version 10.01 (Gambar 3.16) yang terdapat di Laboratorium Energi LPPM ITS.

Prinsip kerja dari pengujian ini adalah dengan melakukan *degassing* terlebih dahulu. Sebelum sampel dimasukkan ke dalam mantel pemanas, tabung sel dikondisikan dalam keadaan vakum.

Kemudian dilakukan *degassing* pada PC. Apabila *degassing* telah selesai, mantel pemanas dibiarkan hingga mencapai temperatur ruang dan ditimbang massanya. Langkah tersebut merupakan langkah awal sebelum sampel siap untuk diuji. Selanjutnya, gas N_2 dialirkan sebagai adsorbat pada sampel uji. Dari banyaknya N_2 yang diadsorb pada permukaan sampel ini yang nantinya akan dianalisa dan menghasilkan data luas permukaan, volume, distribusi ukuran pori yang ingin diketahui (Sustia, 2013).



Gambar 3.16 NOVA Quantachrome Instrument Version 10.01

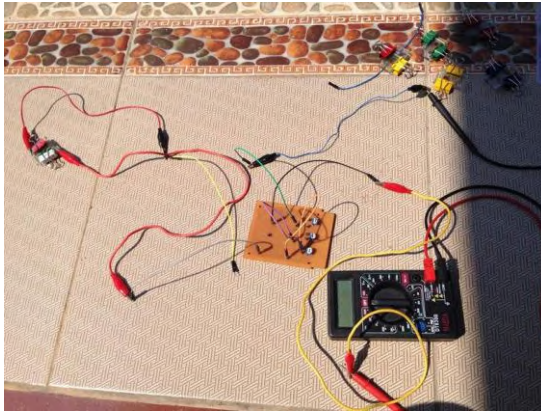
3.8 Pengujian Performansi DSSC

Performansi DSSC diperlihatkan dengan mengukur arus (I) dan tegangan (V) dengan memvariasikan besar hambatan pada sinar matahari secara langsung. Selain itu, dilakukan pula pengukuran efisiensi konversi cahaya dengan IPCE (*incident photon to current conversion efficiency*).

3.8.1 Pengukuran arus dan tegangan

Pengukuran arus dan tegangan bertujuan untuk mengetahui bentuk kurva I-V dan efisiensi dari DSSC untuk setiap sampel.

Pada gambar 3.17 menunjukkan proses pengukuran arus dan tegangan dengan mengubah-ubah nilai hambatan luar pada rangkaian ekivalen. Pengukuran ini dilakukan dengan kontak matahari secara langsung.



Gambar 3.17 Pengukuran arus dan tegangan di bawah cahaya matahari

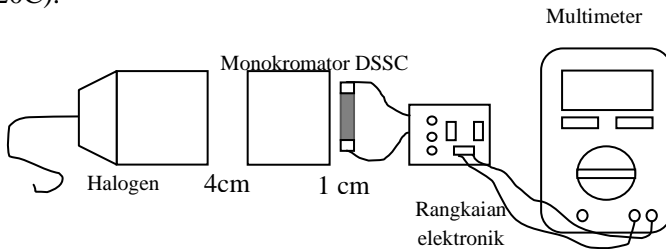
Untuk mendapatkan nilai efisiensi terbaik dari DSSC, maka sebelum dilakukan pengujian diperlukan pengukuran besarnya radiasi cahaya matahari secara langsung dengan menggunakan alat *pyranometer*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui waktu yang tepat dari penyinaran matahari langsung yang memiliki intensitas radiasi cahaya paling besar. Pada pengukuran tersebut dapat diketahui besarnya pengaruh radiasi cahaya pada permukaan bidang dengan satuan W/m^2 . Untuk menghitung besarnya nilai radiasi yang dihasilkan dari *pyranometer* adalah menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_{\text{solar}} = \frac{U_{\text{emf}}}{S} \quad (3.1)$$

dimana E_{solar} adalah radiasi matahari (W/m^2), U_{emf} adalah tegangan keluaran yang dihasilkan dari pengukuran *pyranometer* (μV) dan nilai S adalah sensitifitas dari *pyranometer* sebesar $14,36 \mu\text{V/W/m}^2$.

3.8.2 Pengukuran efisiensi konversi cahaya dengan IPCE

Pengukuran *incident photon to current conversion Efficiency* (IPCE) ini dilakukan di Laboratorium Fotonika Teknik Fisika ITS. Sumber cahaya yang digunakan pada pengukuran IPCE adalah lampu halogen sebesar 150 watt. Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran IPCE adalah monokromator (CT-10T, JASCO), *Optical Power Meter* (Thorlab S-120C).



Gambar 3.18 Skema pengujian IPCE (Agustini, 2013)

Pengukuran IPCE dilakukan dengan mengamati arus listrik yang dihasilkan sampel ketika sampel mendapat cahaya yang sebelumnya sudah diuraikan oleh monokromator dengan panjang gelombang 400-700 nm. Perhitungan IPCE disesuaikan dengan persamaan (2.10).



Gambar 3.19 Pengujian IPCE di Laboratorium Rekayasa Fotonika, Teknik Fisika, ITS

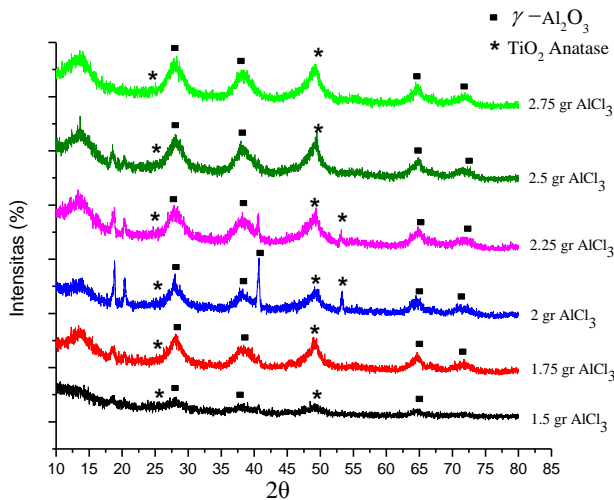
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan hasil karakterisasi dari $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell* dan DSSC yang telah difabrikasi.

4.1 Hasil Karakterisasi XRD $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$

Dari hasil karakterisasi XRD (Gambar 4.1), didapatkan grafik hubungan antara intensitas terhadap puncak difraksi sepanjang nilai 2θ . Gambar 4.1 menunjukkan puncak dari fasa yang terbentuk pada $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$. Dengan membandingkan hasil XRD dengan JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) maka dapat diketahui fasa yang dihasilkan. JCPDS yang digunakan adalah JCPDS 00-021-1272 (Lampiran A) untuk fasa anatase TiO_2 dan JCPDS 29-0063 (Lampiran B) untuk $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.



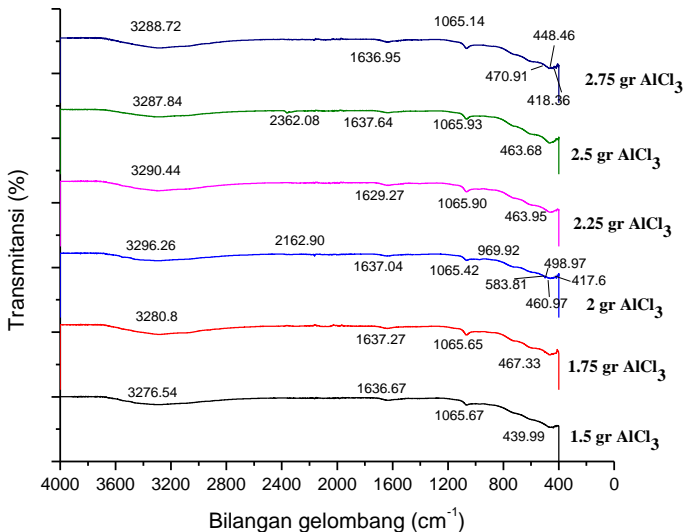
Gambar 4.1 Hasil karakterisasi XRD $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$

Sesuai dengan yang telah dijelaskan pada subbab 3.7.1, maka fase yang terbentuk adalah γ - Al_2O_3 dan TiO_2 anatase. Sudut yang terbentuk pada masing-masing fase dapat dilihat pada lampiran C.

Dengan dilakukannya pencampuran antara Al_2O_3 dan TiO_2 , maka pada sudut $25,281^\circ$ yang merupakan fasa Anatase dari TiO_2 terlihat lemah dan fase γ - Al_2O_3 pada sudut $25,577^\circ$ cenderung bergeser hingga $28,0419^\circ$. Dari hasil XRD dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi AlCl_3 intensitas yang didapatkan pada sudut sekitar 28° semakin meningkat (Zhiping, 2011).

4.2 Hasil Karakterisasi FTIR $\text{Al}_2\text{O}_3@ \text{TiO}_2$

Berdasarkan karakterisasi FTIR yang telah dilakukan didapatkan hasil seperti gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil karakterisasi FTIR $\text{Al}_2\text{O}_3@ \text{TiO}_2$

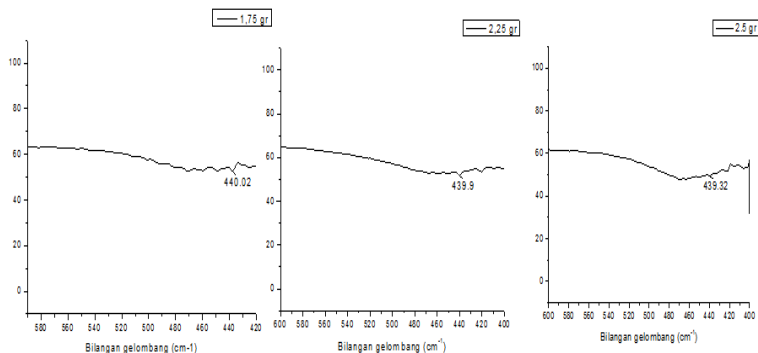
Dari hasil pengujian FTIR dapat diketahui gugus fungsi yang ditunjukkan dengan puncak gelombang yang terbentuk pada bilangan gelombang tertentu.

Tabel 4.1 Bilangan Gelombang dan Gugus Fungsi $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$

Gugus Fungsi	Bilangan gelombang (cm^{-1})					
	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75
Ikatan Al-O-Al	3276,54	3280,8	3296,26	3290,44	3287,84	3288,72
<i>Defect</i> (Vibrasi CO_2)					2362,08	
Vibrasi Al-OH			2162,9			
<i>Bending vibration</i> dari H_2O dan Ti-OH	1636,67	1637,27	1637,04	1629,27	1637,64	1636,95
<i>Assymetric vibration</i> Ti-O-Ti atau <i>Symmetric bending mode</i> Al-O-Al	1065,67	1065,65	1065,42	1065,9	1065,93	1065,14
<i>Bending mode</i> Al-O-Al			969,92			
Ikatan Al-O-H		467,33	417,6 460,97 498,97	463,95	463,68	418,36 448,46 470,91

Pada bilangan gelombang 500-700 cm^{-1} menunjukkan indikasi terbentuknya koordinat tetrahedral dan oktahedral pada $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Rajaeiyan, dkk, 2013). Untuk menunjukkan terbentuknya gugus fungsi Ti-O-Al pada $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ dapat dilihat pada bilangan gelombang 583 dan 439 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang tersebut juga dapat digunakan untuk menentukan terbentuknya lapisan *core-shell* pada $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ (Ahmed, dkk, 2011). Pada sampel dengan konsentrasi AlCl_3 1,5 gr terdapat puncak pada bilangan gelombang 439,99 cm^{-1} dengan

transmitansi sebesar 51,842% dan untuk sampel dengan konsentrasi AlCl_3 2 gr terdapat puncak pada bilangan gelombang 583,81 cm^{-1} dengan transmitansi sebesar 61,774%. Selain dari kedua sampel tersebut, bilangan gelombang 439 cm^{-1} juga terdapat pada sampel konsentrasi AlCl_3 1,75 gr, 2,25 gr dan 2,5 gr dengan intensitas transmitansi yang rendah.



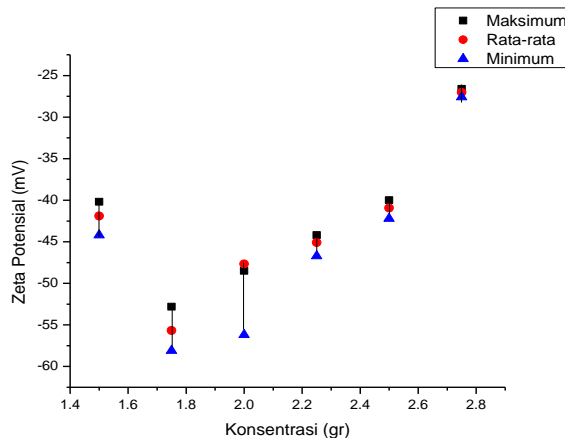
Gambar 4.3 Hasil FTIR sampel konsentrasi AlCl_3 1,75 gr, 2,25 gr dan 2,5 gr pada bilangan gelombang 439 cm^{-1}

4.3 Hasil Karakterisasi Zeta Potensial $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$

Berdasarkan karakterisasi zeta potensial didapatkan hasil seperti pada gambar 4.4 dan tabel 4.2. Hasil dari pengujian zeta potensial dapat dilihat pada lampiran D.

Dengan mengacu pada hasil FTIR, maka sampel dengan konsentrasi AlCl_3 1,5 gr, 1,75 gr, 2 gr, 2,25 gr dan 2,5 gr memungkinkan terbentuknya struktur *core-shell*. Akan tetapi belum dapat diketahui apakah *core* yang terbentuk telah terselimuti *shell* secara sempurna. Ketika *core-shell* terbentuk sempurna, maka nilai zeta potensial yang dihasilkan sesuai dengan nilai zeta potensial TiO_2 yang berperan sebagai *shell* dari sampel $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$. Nilai zeta potensial TiO_2 berada pada 40,1

mV (Chou, dkk, 2008). Sedangkan pada sampel dengan konsentrasi AlCl_3 2,75 gr memungkinkan tidak terbentuknya struktur *core-shell*.



Gambar 4.4 Hasil karakterisasi zeta potensial

Dari hasil zeta potensial dapat menentukan daerah stabil dari suatu sampel dan dapat menunjukkan perubahan kimia di permukaan. Nilai stabil *metal oxide* berada pada nilai zeta potensial -40 mV (Berg, 2009). Pada daerah tersebut sampel dapat terdispersi dan tidak mengalami pengendapan. Pada sampel $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ tidak diharapkan terjadinya dispersi, hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya kerusakan pada struktur *core-shell*, artinya untuk mendapatkan daerah tersebut maka nilai zeta potensial bernilai lebih kecil dari -40 mV. Dari ke enam sampel $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$, sampel dengan konsentrasi AlCl_3 2,75 gr memiliki daerah yang stabil dengan sampel yang terdispersi. Dan penurunan nilai zeta potensial juga dapat digunakan untuk menentukan tingkat aglomerasi pada sampel (Gnann, 2004). Dari ke enam sampel, sampel dengan konsentrasi AlCl_3 2,75 gr

memiliki tingkat aglomerasi yang lebih tinggi dibanding ke lima sampel yang lain.

Tabel 4.2 Hasil Karakterisasi Zeta Potensial

Konsentrasi AlCl_3 (gr)	Zeta Potensial (mV)
1,5	-41,9
1,75	-55,67
2	-47,67
2,25	-45,1
2,5	-40,93
2,75	-27,03

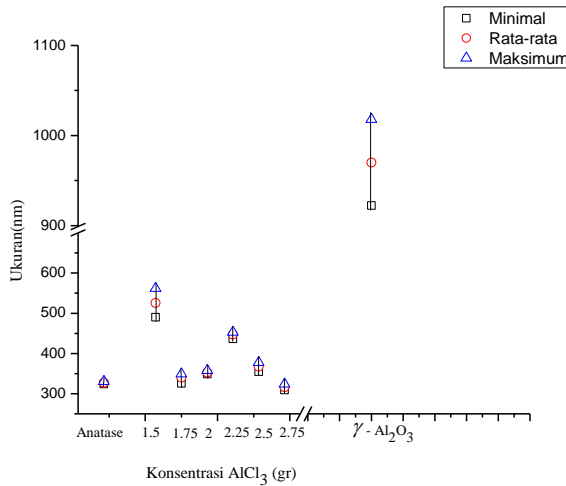
Untuk mengetahui lebih lanjut tingkat aglomerasi dapat dilihat dari ukuran $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ yang dihasilkan pada karakterisasi *particle size analyzer* (PSA).

4.4 Hasil Karakterisasi *Particle Size Analyzer* (PSA)

Berdasarkan hasil karakterisasi *particle size analyzer* (PSA) didapatkan ukuran partikel seperti pada tabel 4.3 dan gambar 4.5.

Tabel 4.3 Hasil Karakterisasi PSA

Sampel	Ukuran (nm)
Al_2O_3	969,93
TiO_2 Anatase	327,13
$\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ (1,5 gr AlCl_3)	526,6
$\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ (1,75 gr AlCl_3)	339,53
$\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ (2 gr AlCl_3)	352,63
$\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ (2,25 gr AlCl_3)	446,87
$\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ (2,5 gr AlCl_3)	367,13
$\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ (2,75 gr AlCl_3)	316,3



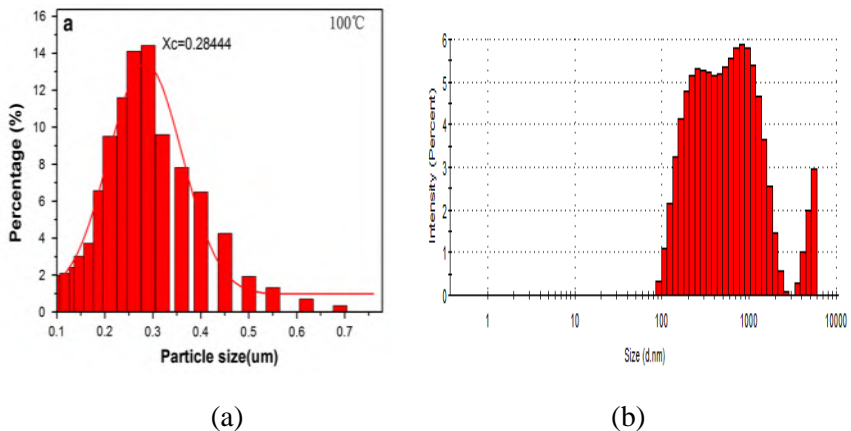
Gambar 4.5 Hasil karakterisasi *particle size analyzer* (PSA).

Dari hasil karakterisasi didapatkan ukuran partikel yang besar karena terjadi aglomerasi pada sampel $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$. Jika dilihat dari distribusi yang dihasilkan maka terdapat dua jenis distribusi yaitu distribusi unimodal dan distribusi bimodal seperti yang dirangkum pada tabel 4.4 (Lampiran E).

Tabel 4.4 Hasil Distribusi PSA

Distribusi yang dihasilkan	Konsentrasi AlCl_3 (gr)
Unimodal	1,5
	1,75
	2,75
Bimodal	2
	2,25
	2,5

Pembentukan *core-shell* yang tidak sempurna memungkinkan terjadinya pembentukan partikel lain, puncak yang muncul pada rentang <100 nm merupakan ukuran partikel TiO_2 , sedangkan untuk puncak dengan nilai >1000 nm merupakan ukuran partikel Al_2O_3 . Ketika *core-shell* terbentuk sempurna maka akan menghasilkan distribusi partikel seperti pada gambar 4.6 (a) dimana distribusi yang terbentuk merupakan distribusi unimodal. Sedangkan pada gambar 4.6 (b) memperlihatkan kemungkinan terbentuknya *core-shell* yang tidak sempurna dengan adanya partikel lain yang terbentuk.



Gambar 4.6 Distribusi partikel *core-shell* (a) pada penelitian Yang (Yang, 2015) (b) pada penelitian ini.

Sampel dengan konsentrasi AlCl_3 2,75 gr memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan konsentrasi yang lain. Hal ini karena, konsentrasi AlCl_3 sebesar 2,75 gr dapat menghambat pertumbuhan dari TiO_2 sehingga ukuran yang dihasilkan cenderung lebih kecil. Partikel lain yang ada pada permukaan TiO_2 membatasi pertumbuhan kristal selama proses kalsinasi.

Penambahan Al pada Ti mempengaruhi pembentukan *defect* dalam kristal TiO, seperti kekosongan oksigen dan sisipan Ti, sedangkan atom Al akan mensubstitusi pada tempat-tempat Ti (Grzmil, 2004).

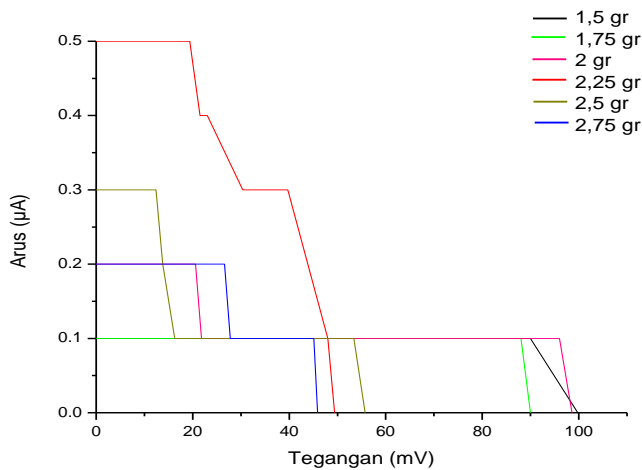
4.5 Uji Kurva I-V

Pengukuran arus dan tegangan digunakan untuk mengetahui performansi DSSC. Sebelum dilakukan pengukuran DSSC terlebih dahulu dilakukan pengukuran intensitas radiasi matahari dengan menggunakan *pyranometer* (*solar power meter*) untuk mendapatkan waktu dengan intensitas radiasi matahari tertinggi. Pengukuran ini dilakukan selama satu minggu pada tanggal 17 Mei 2016 hingga 23 Mei 2016 pukul 08.00-16.00 WIB. Hasil pengukuran ditabelkan pada tabel 4.5.

Dari hasil pengukuran intensitas matahari maka pengukuran I-V dilakukan pada pukul 10.00-14.00 WIB. Posisi DSSC adalah tegak lurus dengan matahari. Pengambilan data dimulai dengan memanfaatkan rangkaian hambatan. Dengan memvariasikan hambatan menggunakan potensiometer, maka nilai dari tegangan dan arus dapat diketahui dengan menggunakan *amperemeter*. Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengukuran I-V dengan hambatan berbeda. Efisiensi DSSC bergantung pada nilai I_{sc} , V_{oc} dan FF. Nilai I_{sc} , V_{oc} , FF dan efisiensi DSSC dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Intensitas Radiasi Cahaya Matahari Menggunakan *Pyranometer*

Pukul (WIB)	Hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
	W/m ²						
08.00	160,16	492,34	410,86	139,73	Hujan	396,94	466,57
09.00	208,91	703,34	201,95	188,02	222,84	668,52	682,45
10.00	292,47	800,84	735,84	355,15	436,63	738,16	793,87
11.00	837,97	835,65	835,65	378,13	561,98	759,05	814,76
12.00	791,78	849,58	851,67	800,84	835,65	898,33	800,84
13.00	743,04	645,54	759,05	738,16	687,33	759,05	714,95
14.00	601,21	543,17	443,59	555,12	534,12	584,96	501,39
15.00	283,19	125,35	160,17	162,3	127,44	97,49	83,56
16.00	188,02	58	62,67	64,67	76,6	55,71	48,75



Gambar 4.7 Kurva I-V DSSC

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran I-V

Konsentrasi (gr)	FF (%)	V _{oc} (mV)	I _{sc} (μ A)	J _{sc} (μ A/cm ²)	E _{ff} (%)
1,5	54,92	101,6	0,1	0,4	0,000026
1,75	97,78	90	0,1	0,4	0,000040
2	48,68	98,6	0,2	0,8	0,000046
2,25	48,22	49,4	0,5	2	0,000057
2,5	31,96	55,7	0,3	1,2	0,000025
2,75	57,95	45,9	0,2	0,8	0,000024

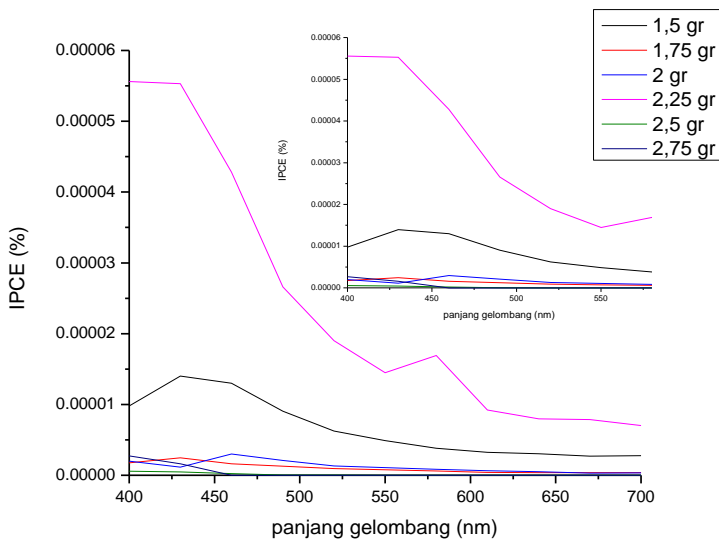
DSSC yang menggunakan sampel dengan konsentrasi AlCl_3 2,25 gr menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan DSSC yang lain dengan efisiensi sebesar 0,000057%. Nilai kerapatan arus yang dihasilkan sebesar $2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, dimana nilai ini menunjukkan kemampuan pewarna dalam mengumpulkan foton. Semakin baik performansi pewarna maka akan banyak foton yang terkumpul dan menghasilkan arus yang semakin besar. Sedangkan efisiensi terendah dari sampel DSSC adalah sampel dengan konsentrasi AlCl_3 2,75 gr dengan efisiensi sebesar 0,000024% dan nilai kerapatan arus sebesar $0,8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Dari hasil yang didapatkan pada kurva I-V memungkinkan pada sampel konsentrasi AlCl_3 2,25 gr memiliki luas permukaan dan porositas yang lebih besar dibandingkan dengan sampel yang lain. Semakin luas permukaan partikel maka, semakin banyak pewarna yang teradsorb, sehingga semakin banyak foton yang diserap oleh sampel. Semakin besar nilai porositas maka, kerapatan arus yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini membuat performansi kerja DSSC meningkat.

Dari hasil kurva I-V, ketika disimulasikan pada pveducation.org didapatkan hasil hambatan seri yang besar. Nilai R_s besar dipengaruhi oleh hambatan kaca TCO, elektrolit dan elektroda lawan. Hambatan kaca TCO dan *interface* antara elektrolit/katalis TCO mempengaruhi perpindahan elektron pada

kondisi *short circuit* dan mempermudah terjadinya proses rekombinasi pada DSSC. Semakin besar proses rekombinasi menyebabkan proses perpindahan elektron yang semakin lambat (Liu, dkk, 2010).

4.6 Spektrum IPCE DSSC

Hasil spektrum IPCE dari DSSC dapat dilihat pada gambar 4.8. Nilai IPCE menunjukkan proses transfer elektron dari pewarna ke semikonduktor dan dari I^- yang teroksidasi ke pewarna (Hara, dkk, 2000). Semakin besar nilai IPCE menunjukkan transfer elektron berlangsung secara efektif dan besarnya nilai IPCE menunjukkan banyaknya foton yang diubah menjadi arus (Varghese, dkk, 2008).

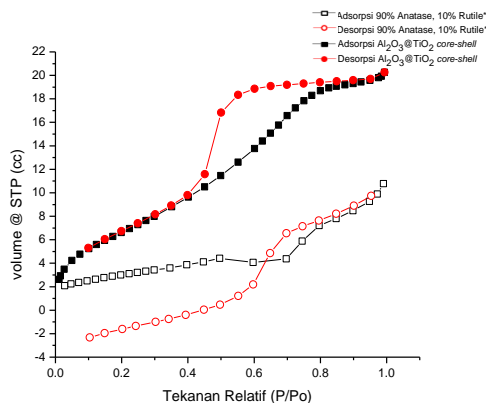


Gambar 4.8 Spektrum IPCE

Dari gambar 4.8, dapat dilihat bahwa nilai IPCE terbesar dihasilkan pada DSSC konsentrasi AlCl_3 2,25 gr. Pada panjang gelombang 400-500 nm memiliki nilai IPCE tertinggi dimana hal ini sesuai dengan kandungan antosianin yang ada pada pewarna kulit manggis yang memiliki rentang absorbansi pada panjang gelombang 400-500 nm. Pada TiO_2 anatase, peningkatan IPCE terjadi pada panjang gelombang 500-550 nm berhubungan dengan adsorpsi pewarna yang tinggi yang dipengaruhi oleh permukaan yang luas (Kang, dkk, 2008), sedangkan pada $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ peningkatan IPCE terjadi 397-560 nm berhubungan dengan daya serap yang dimiliki oleh $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Gangwar, 2015).

4.7 Karakterisasi BET

Karakteristik BET digunakan untuk mengetahui distribusi pori, luas permukaan, volume pori, diameter pori. Semakin luas permukaan semikonduktor maka semakin banyak pewarna yang akan teradsorb. Sehingga, akan semakin banyak foton yang dapat ditangkap oleh pewarna dan membuat performansi DSSC meningkat.



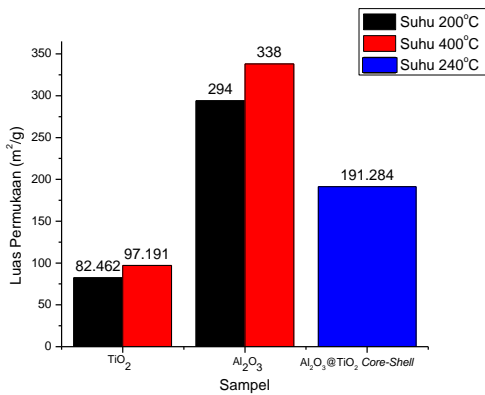
Gambar 4.9 Karakterisasi BET (*Lestari, 2014)

Gambar 4.9 merupakan hasil karakterisasi BET TiO₂ 90% anatase, 10% rutile (Lestari, 2014) dan Al₂O₃@TiO₂ *core-shell*. Hasil pada gambar 4.9 menunjukkan kurva isoterm tipe IV yang memiliki struktur Al₂O₃@TiO₂ *core-shell* mesopori (Leddy, 2012). Nilai adsorpsi-desorpsi Al₂O₃@TiO₂ *core-shell* lebih besar dibandingkan nilai adsorpsi-desorpsi TiO₂.

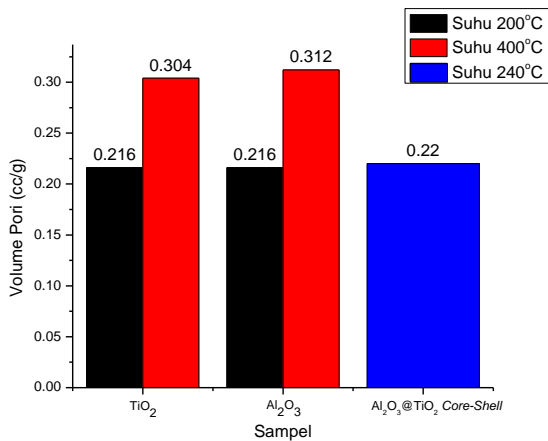
Dari karakterisasi BET didapatkan luas permukaan, volume pori dan diameter pori seperti pada tabel 4.7 dan gambar 4.10 hingga 4.12.

Tabel 4.7 Karakteristik BET (*Putri, 2014 **Coelho, 2008)

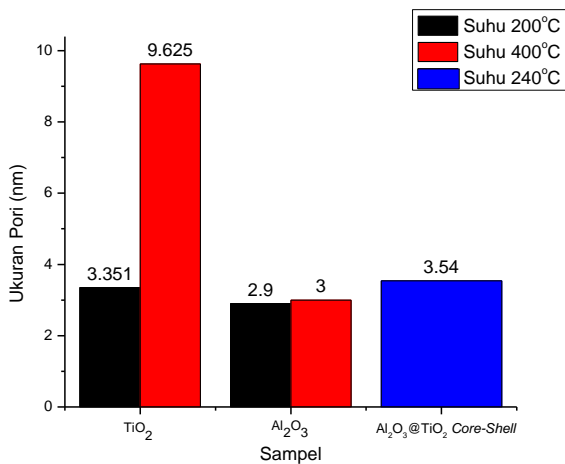
Sampel	Suhu (°C)	Luas Permukaan (m ² /g)	Volume Pori (cc/g)	Ukuran Pori (nm)
TiO ₂ *	200	82,462	0,216	3,351
	400	97,191	0,304	9,625
Al ₂ O ₃ **	200	294	0,216	2,9
	400	338	0,312	3,0
Al ₂ O ₃ @TiO ₂ <i>core-shell</i>	240	191,284	0,22	3,45



Gambar 4.10 Luas permukaan sampel hasil karakterisasi BET



Gambar 4.11 Volume pori hasil karakterisasi BET



Gambar 4.12 Ukuran pori hasil karakterisasi BET

Dari tabel 4.7 dapat diketahui bahwa partikel tersebut mesopori karena memiliki ukuran pada rentang 2 nm – 50 nm (Leddy, 2012). $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell* cenderung memiliki luas permukaan yang lebih besar dibanding luas permukaan TiO_2 , hal ini menandakan bahwa sampel $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell* memiliki lebih banyak Al_2O_3 dibanding TiO_2 . Jika dilihat performansi yang didapatkan (tabel 4.6) menunjukkan nilai efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan performansi yang didapatkan dari penggunaan semikonduktor TiO_2 . Nilai efisiensi $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell* sebesar 0,000057%, sedangkan TiO_2 adalah sebesar 0,076% (Lestari, 2014). Hal tersebut disebabkan oleh lapisan Al_2O_3 yang terdapat pada $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ *core-shell*. Dari hasil karakterisasi PSA diketahui bahwa, TiO_2 tidak terlapisi penuh oleh Al_2O_3 sehingga masih terdapat Al_2O_3 yang bersifat isolator terekspos. Hal ini yang menyebabkan performansi DSSC bernilai lebih rendah.

LAMPIRAN A
(JCPDS 00-021-1272)
TiO₂ Fase Anatase

Name and formula

Reference code:	00-021-1272
Mineral name:	Anatase, syn
Compound name:	Titanium Oxide
Empirical formula:	O ₂ Ti
Chemical formula:	TiO ₂

Crystallographic parameters

Crystal system:	Tetragonal
Space group:	I41/amd
Space group number:	141
a (Å):	3.7852
b (Å):	3.7852
c (Å):	9.5139
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	90.0000
Calculated density (g/cm ³):	3.89
Volume of cell (10 ⁶ pm ³):	136.31
Z:	4.00
RIR:	3.30

Subfiles and quality

Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Common Phase Educational pattern Excipient Forensic Inorganic
-----------	--

	Mineral
	NBS pattern
	Pharmaceutical
	Pigment/Dye
Quality:	Star (S)
 <u>Comments</u>	
Color: Creation	Colorless
Date:	1/1/1970
Modification Date:	1/11/2011
Additional Patterns:	See PDF 01-071-1166.
	Validated by calculated pattern
Color:	Colorless
General Comments:	Pattern reviewed by Holzer, J., McCarthy, G., North Dakota State Univ, Fargo, North Dakota, USA, ICDD Grant-in-Aid (1990). Agrees well with experimental and calculated patterns
Polymorphism/Phase Transition:	Anatase and another polymorph, brookite (orthorhombic), are converted to rutile (tetragonal) by heating above 700 C
Sample Source or Locality:	Sample obtained from National Lead Co., South Amboy, New Jersey, USA
Temperature of Data Collection:	Pattern taken at 298 K
Unit Cell Data Source:	Powder Diffraction.

References

Primary reference: *Natl. Bur. Stand. (U. S.) Monogr. 25, 7, 82, (1969)*

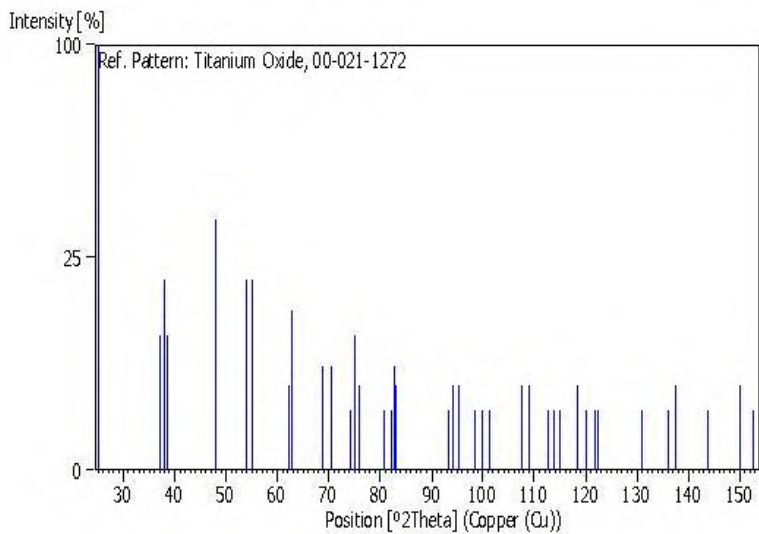
Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
-----	---	---	---	-------	-------------	-------

1	1	0	1	3.52000	25.281	100.0
2	1	0	3	2.43100	36.947	10.0
3	0	0	4	2.37800	37.801	20.0
4	1	1	2	2.33200	38.576	10.0
5	2	0	0	1.89200	48.050	35.0
6	1	0	5	1.69990	53.891	20.0
7	2	1	1	1.66650	55.062	20.0
8	2	1	3	1.49300	62.121	4.0
9	2	0	4	1.48080	62.690	14.0
10	1	1	6	1.36410	68.762	6.0
11	2	2	0	1.33780	70.311	6.0
12	1	0	7	1.27950	74.031	2.0
13	2	1	5	1.26490	75.032	10.0
14	3	0	1	1.25090	76.020	4.0
15	0	0	8	1.18940	80.727	2.0
16	3	0	3	1.17250	82.139	2.0
17	2	2	4	1.16640	82.662	6.0
18	3	1	2	1.16080	83.149	4.0
19	2	1	7	1.06000	93.221	2.0
20	3	0	5	1.05170	94.182	4.0
21	3	2	1	1.04360	95.143	4.0
22	1	0	9	1.01820	98.319	2.0
23	2	0	8	1.00700	99.804	2.0
24	3	2	3	0.99670	101.221	2.0
25	3	1	6	0.95550	107.448	4.0
26	4	0	0	0.94640	108.963	4.0
27	3	0	7	0.92460	112.841	2.0
28	3	2	5	0.91920	113.861	2.0
29	4	1	1	0.91380	114.909	2.0
30	2	1	9	0.89660	118.439	4.0
31	2	2	8	0.88900	120.104	2.0
32	4	1	3	0.88190	121.725	2.0
33	4	0	4	0.87930	122.336	2.0
34	4	2	0	0.84640	131.036	2.0
35	3	2	7	0.83080	135.998	2.0
36	4	1	5	0.82680	137.391	4.0

37	3	0	9	0.81020	143.888	2.0
38	4	2	4	0.79740	150.039	4.0
39	0	0	12	0.79280	152.634	2.0

Stick Pattern



LAMPIRAN B

(JCPDS 29-0063)

Name and formula

Reference code:	00-042-1468
Mineral name:	Corundum, syn
Compound name:	Aluminum Oxide
Common name:	sapphire, alumina, alundum, diamonite, ruby
Empirical formula:	Al ₂ O ₃
Chemical formula:	Al ₂ O ₃

Crystallographic parameters

Crystal system:	Rhombohedral
Space group:	R-3c
Space group number:	167
a (Å):	4.7588
b (Å):	4.7588
c (Å):	12.9920
Alpha (°):	90.0000
Beta (°):	90.0000
Gamma (°):	120.0000
Calculated density (g/cm ³):	3.98
Measured density (g/cm ³):	4.05
Volume of cell (10 ⁻⁶ pm ³):	254.80
Z:	6.00
RIR:	1.00

Status, subfiles and quality

Status:	Marked as deleted by ICDD
Subfiles:	Alloy, metal or intermetallic Cement and Hydration Product Common Phase Forensic Inorganic Mineral Superconducting Material
Quality:	Star (S)

Comments

Color:	White
Creation Date:	11/30/1990
Modification Date:	1/11/2011
Additional Patterns:	Validated by calculated pattern 00-043-1484
Color:	White
Deleted Or Rejected By:	Deleted by 00-010-0173 which is satisfactory
Melting Point:	2323 K
Sample Source or Locality:	Sample is the National Institute of Standards and Technology corundum standard reference material 674
Unit Cell Data Source:	Powder Diffraction.

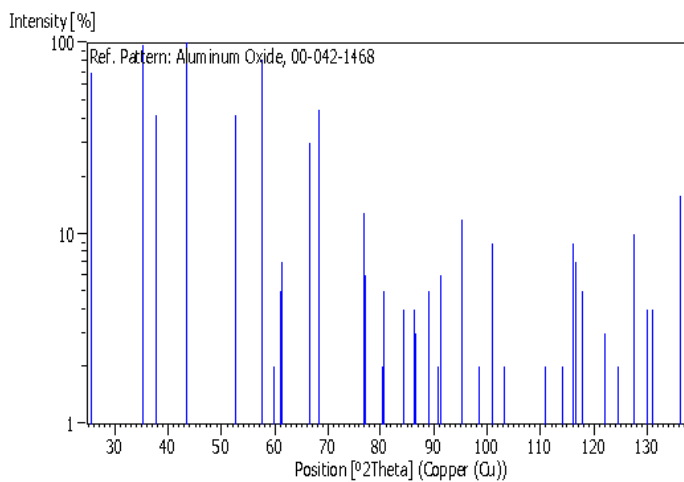
References

Primary reference:	Welton-Holzer, J., McCarthy, G., North Dakota State University, Fargo, North Dakota, USA., <i>ICDD Grant-in-Aid</i> , (1989)
--------------------	--

Structure: Ishizawa, N., Miyata, T., Minato, I., Marumo, F., Iwai, S., *Acta Crystallogr., Sec. B: Struct. Crystallogr. Cryst. Chem.*, **26**, 228, (1980)
 Optical data: Winchell, A., Winchell, H., *Microscopic Character of Artificial Inorg. Solid Sub.*, 60, (1964)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	1	2	3.48000	25.577	70.0
2	1	0	4	2.55100	35.151	97.0
3	1	1	0	2.37900	37.765	42.0
4	0	0	6	2.16500	41.685	1.0
5	1	1	3	2.08500	43.363	100.0
6	2	0	2	1.96400	46.184	1.0
7	0	2	4	1.73980	52.559	42.0
8	1	1	6	1.60140	57.504	82.0
9	2	1	1	1.54610	59.765	2.0
10	1	2	2	1.51470	61.135	5.0
11	0	1	8	1.51090	61.305	7.0
12	2	1	4	1.40450	66.522	30.0
13	3	0	0	1.37380	68.209	45.0
14	1	2	5	1.33580	70.432	1.0
15	2	0	8	1.27540	74.309	1.0
16	1	0	10	1.23900	76.882	13.0
17	1	1	9	1.23410	77.244	6.0
18	2	1	7	1.19290	80.442	2.0
19	2	2	0	1.18980	80.695	5.0
20	3	0	6	1.15980	83.237	1.0
21	2	2	3	1.14710	84.369	4.0
22	1	3	1	1.13870	85.137	1.0
23	3	1	2	1.12570	86.359	4.0
24	1	2	8	1.12420	86.502	3.0
25	0	2	10	1.09900	89.000	5.0
26	0	0	12	1.08240	90.740	2.0
27	1	3	4	1.07820	91.193	6.0
28	2	2	6	1.04270	95.251	12.0
29	0	4	2	1.01750	98.410	2.0
30	2	1	10	0.99780	101.067	9.0
31	1	1	12	0.98530	102.850	1.0
32	4	0	4	0.98200	103.334	2.0
33	3	2	1	0.94320	109.509	1.0
34	1	2	11	0.94120	109.855	1.0
35	2	3	2	0.93570	110.820	2.0
36	3	1	8	0.93470	110.998	2.0
37	2	2	9	0.91800	114.092	2.0
38	3	2	4	0.90780	116.105	9.0
39	0	1	14	0.90540	116.594	7.0
40	4	1	0	0.89940	117.843	5.0
41	2	3	5	0.88850	120.216	1.0
42	4	1	3	0.88050	122.053	3.0
43	0	4	8	0.87000	124.602	2.0
44	1	3	10	0.85820	127.683	10.0
45	3	0	12	0.85030	129.894	4.0
46	2	0	14	0.84610	131.125	4.0
47	3	2	7	0.84240	132.244	1.0
48	2	1	13	0.84100	132.677	1.0
49	4	1	6	0.83050	136.101	16.0



Lampiran C
Hasil Karakterisasi XRD Al₂O₃@TiO₂

Konsentrasi AlCl ₃ (gr)	TiO ₂ Anatase (°)	γ- Al ₂ O ₃ (°)
1,5	49,2648	27,9803 40,7083 64,6459
1,75	49,2513	28,0285 37,7690 66,7480 72,0548
2,0	49,3860 53,3452	27,9583 38,0026 40,7013 65,0832 70,6995
2,25	49,3624 53,1734	27,7475 40,6374 64,9706 71,9335
2,5	49,5362	28,0419 40,6105 65,0034 72,1760
2,75	49,2874	28,1936 64,7648 72,0548

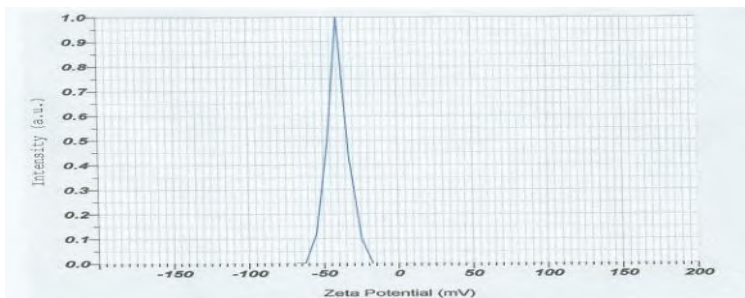
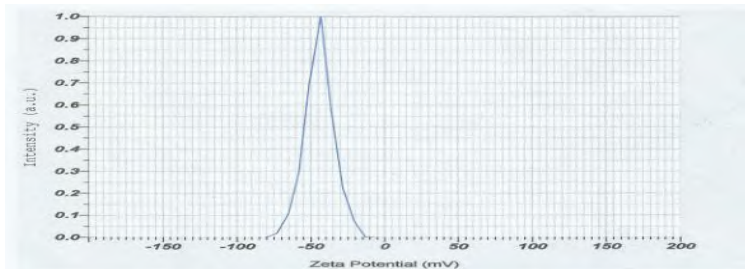
LAMPIRAN D

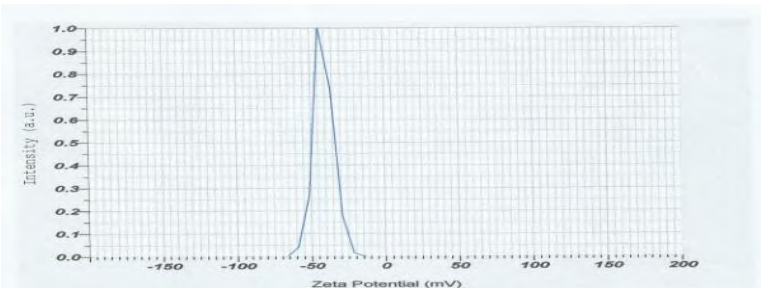
HASIL KARAKTERISASI ZETA POTENSIAL

- a. AlCl_3 1.5 gr (A)
- Temperature of Holder : 24.9 deg. C
- Dispersion Medium Viscosity : 0.897 mPa.s
- Conductivity : 0.182 mS/cm
- Electrode Voltage : 3.3 V

Hasil Pengujian Zeta Potensial

	Zeta Potensial (mV)	Electrophoretic Mobility Mean (cm^2/Vs)
1.	-44.2	-0.000342
2.	-40.2	-0.000311
3.	-41.3	-0.000318



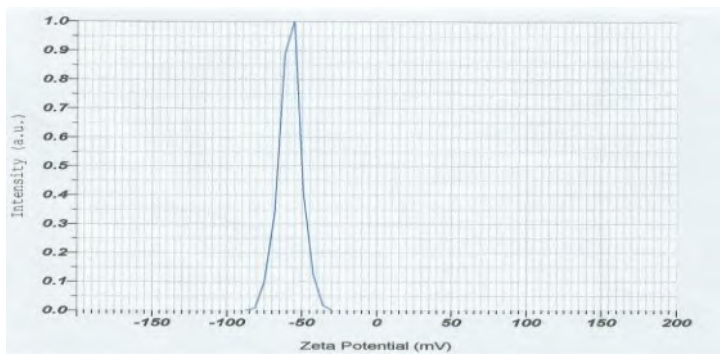


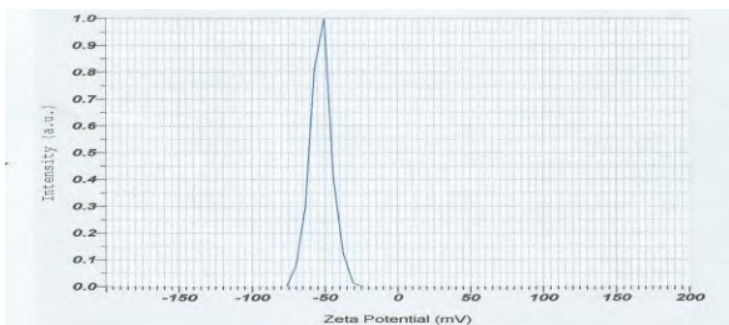
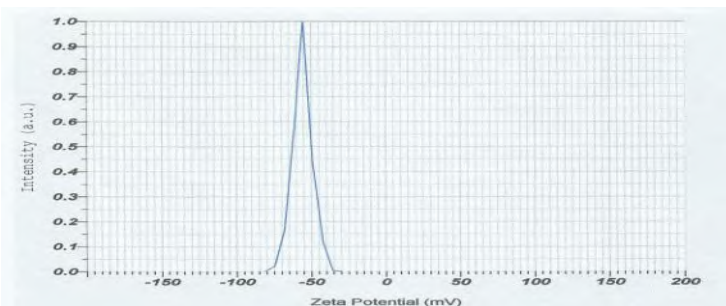
b. AlCl_3 1.75 gr (B)

Temperature of Holder : 24.9 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.897 mPa.s
 Conductivity : 0.07 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.9 V

Hasil Pengujian Zeta Potensial

	Zeta Potensial (mV)	Electrophoretic Mobility Mean (cm^2/Vs)
1.	-58.1	-0.000449
2.	-56.1	-0.000434
3.	-52.8	-0.000408



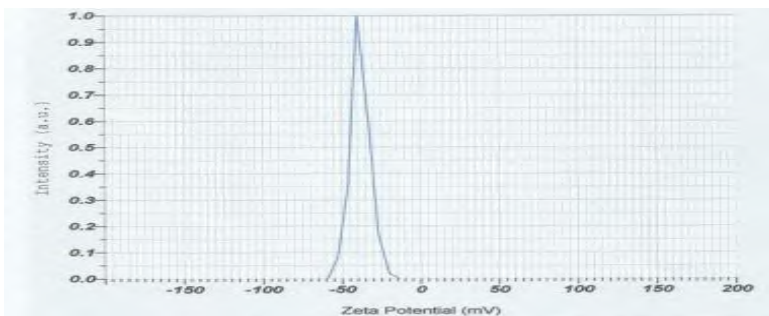
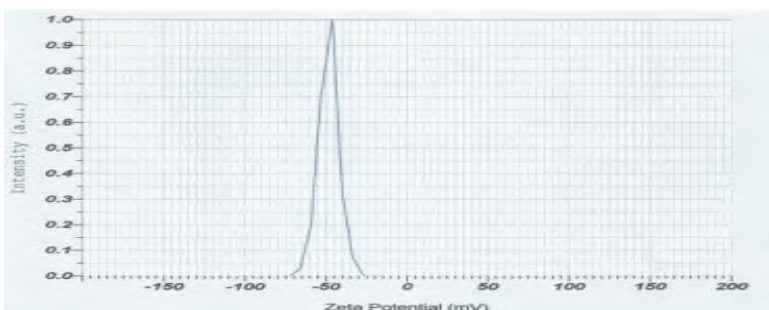
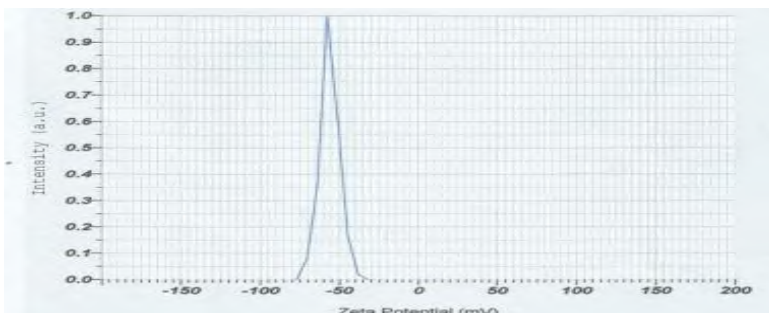


c. AlCl_3 2 gr (C)

Temperature of Holder : 24.9 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.897 mPa.s
 Conductivity : 0.069 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.9 V

Hasil Pengujian Zeta Potensial

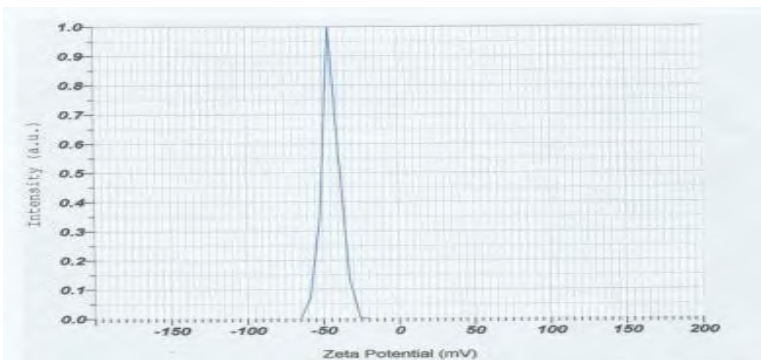
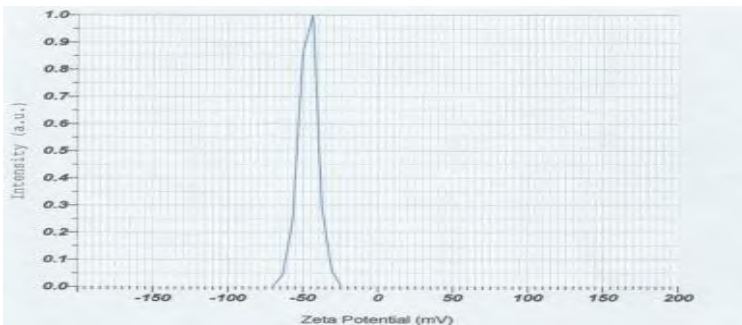
	Zeta Potensial (mV)	Electrophoretic Mobility Mean (cm^2/Vs)
1.	-56.2	-0.000435
2.	-48.5	-0.000375
3.	-38.3	-0.000295

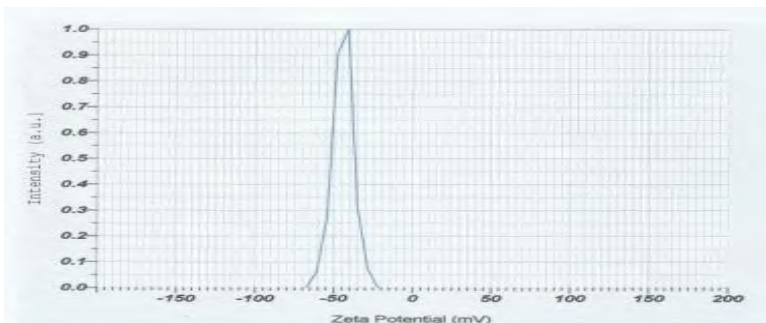


- d. AlCl_3 2.25 gr (D)
- | | |
|-----------------------------|---------------|
| Temperature of Holder | : 24.8 deg. C |
| Dispersion Medium Viscosity | : 0.899 mPa.s |
| Conductivity | : 0.099 mS/cm |
| Electrode Voltage | : 3.8 V |

Hasil Pengujian Zeta Potensial

	Zeta Potensial (mV)	Electrophoretic Mobility Mean (cm ² /Vs)
1.	-46.7	-0.00036
2.	-44.4	-0.000342
3.	-44.2	-0.000342

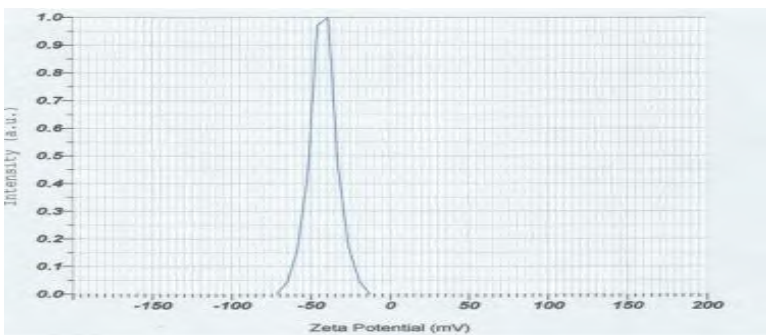


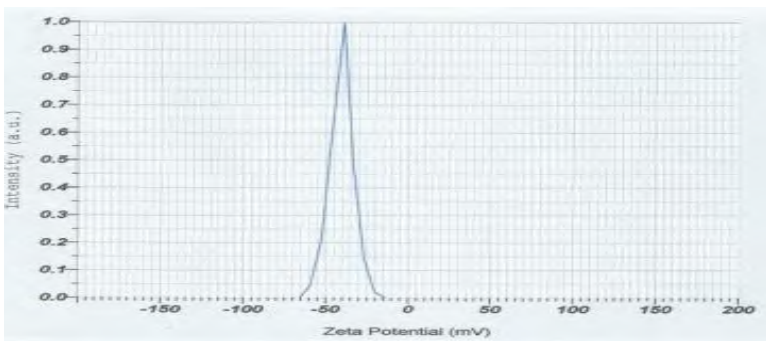
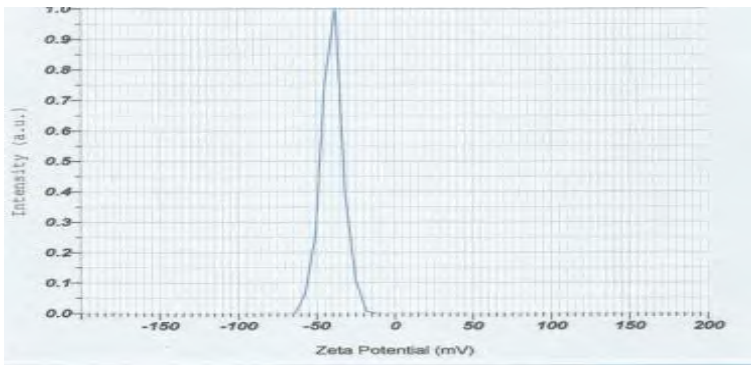


- e. AlCl_3 2.5 gr (C)
 Temperature of Holder : 24.9 deg. C
 Dispersion Medium Viscosity : 0.898 mPa.s
 Conductivity : 0.069 mS/cm
 Electrode Voltage : 3.9 V

Hasil Pengujian Zeta Potensial

	Zeta Potensial (mV)	Electrophoretic Mobility Mean (cm^2/Vs)
1.	-42.2	-0.000326
2.	-40.0	-0.000309
3.	-40.6	-0.000314

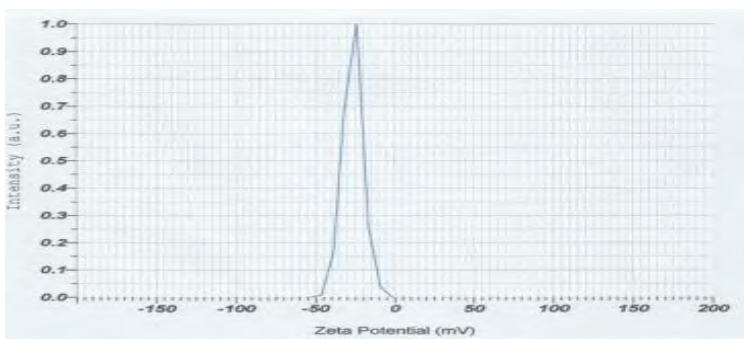
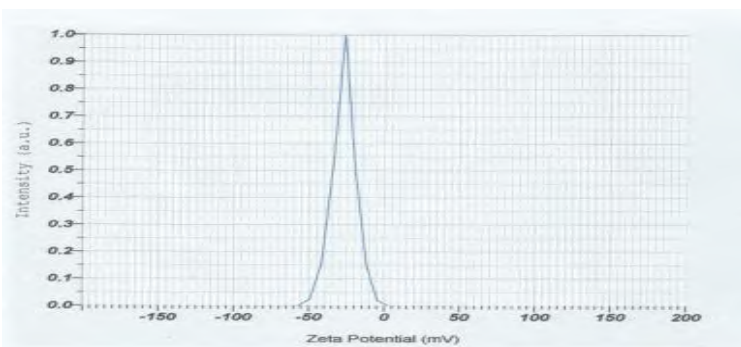
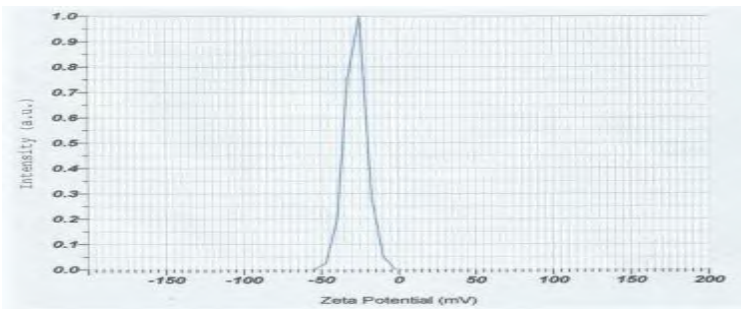




- f. AlCl_3 2 gr (C)
- Temperature of Holder : 24.9 deg. C
- Dispersion Medium Viscosity : 0.897 mPa.s
- Conductivity : 0.276 mS/cm
- Electrode Voltage : 3.3 V

Hasil Pengujian Zeta Potensial

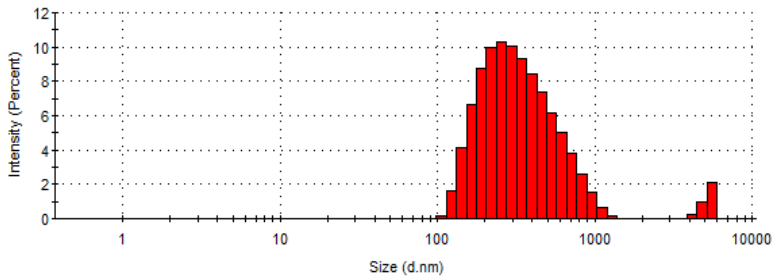
	Zeta Potensial (mV)	Electrophoretic Mobility Mean (cm^2/Vs)
1.	-27.6	-0.000213
2.	-26.9	-0.000208
3.	-26.6	-0.000206



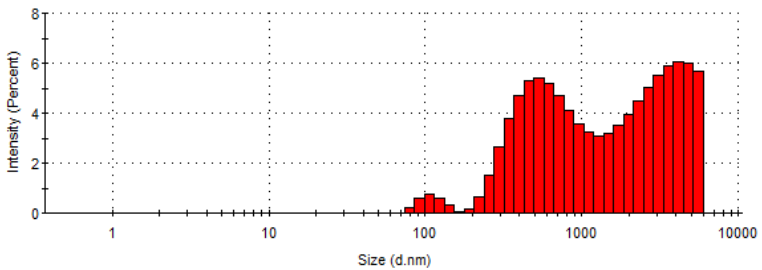
LAMPIRAN E

DISTRIBUSI HASIL KARAKTERISASI PSA

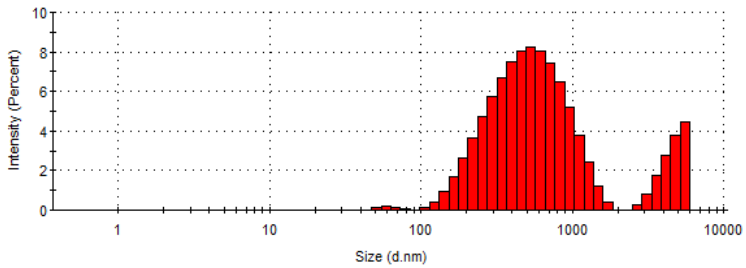
a. TiO_2 Anatase



b. Al_2O_3

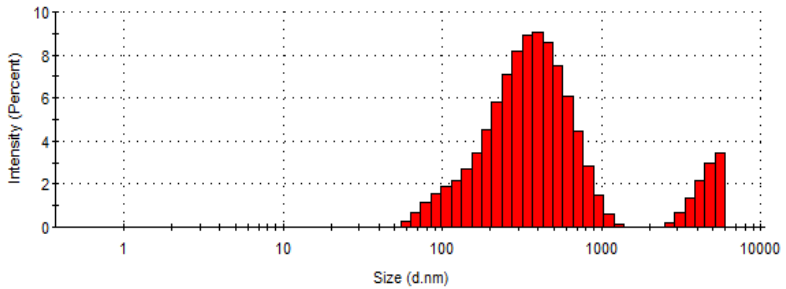


c. $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ Konsentrasi AlCl_3 1.5 gr

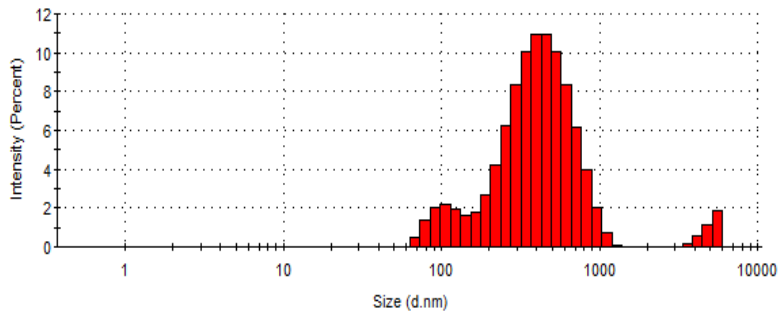


d. $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ Konsentrasi AlCl_3 1.75 gr

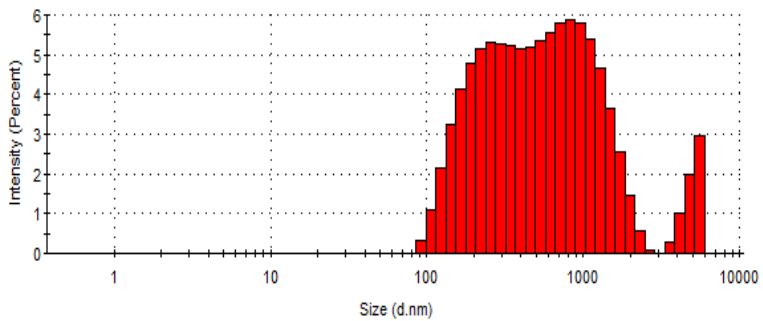
Statistics Graph (1 measurements)



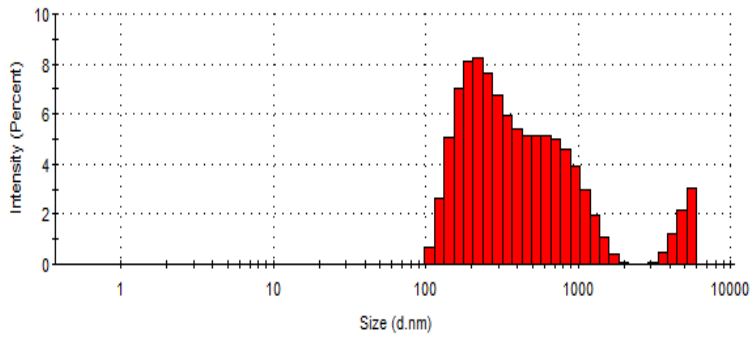
e. $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ Konsentrasi AlCl_3 2 gr



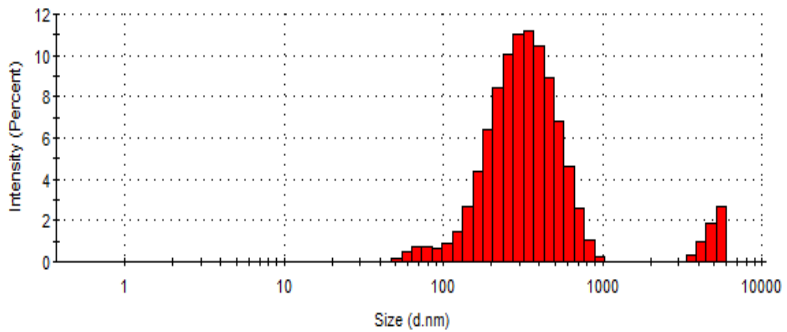
f. $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ Konsentrasi AlCl_3 2.25 gr



g. $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ Konsentrasi AlCl_3 2.5 gr



h. $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ Konsentrasi AlCl_3 2.75 gr



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi dan analisa yang telah dilakukan, maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Pada sampel 1,5 gr, 1,75 gr, 2 gr, 2,25 gr dan 2,5 memungkinkan terbentuknya struktur *core-shell* $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$, akan tetapi dengan struktur *core* yang tidak terselimuti penuh oleh *shell* dan mempunyai kecenderungan aglomerasi yang besar. Sedangkan pada sampel 2,75 gr memungkinkan tidak terbentuk struktur *core-shell* $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$.
- b. Dari partikel yang telah diperoleh, nilai efisiensi DSSC terbesar adalah $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ konsentrasi AlCl_3 2,25 gr dengan nilai efisiensi sebesar 0,000057% dan nilai J_{sc} sebesar $2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan sebagai pertimbangan dalam pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut :

- a. Karakterisasi zeta potensial dilakukan setelah karakterisasi *Particle Size Analyzer* (PSA) dengan menggunakan sampel yang sama. Karena ketika menilik kepada alat yang digunakan maka prosedur yang benar adalah melakukan karakterisasi PSA terlebih dahulu, jika sampel sudah sesuai maka baru dilakukan karakterisasi zeta potensial.
- b. Perlu ditambahkan *dispersant* yang lebih banyak pada proses sintesis $\text{Al}_2\text{O}_3@\text{TiO}_2$ untuk menurunkan tingkat aglomerasi dan mendapatkan ukuran partikel yang lebih kecil.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Agustini, S., 2013. "Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell Berdasarkan Fraksi Volume TiO_2 Anatase-Rutile dengan *Garcinia mangostana* Dan *Rhoeo spatachea* sebagai Dye Fotozensitizer". Tugas Akhir, ITS.
- Ahmed M.A., M.F., Abdel-Messih, 2011. "Structural and nanocomposite features of TiO_2 - Al_2O_3 powders prepared by sol-gel method". *Journal of Alloys and Compounds* 509 (2011) 2154–2159.
- Berg, J.M., Amelia Romoser, Nivedita B., Rema Z., and Christie M.S., 2009. "The relationship between pH and zeta potential of ~30 nm metal oxide nanoparticle suspensions relevant to in vitro toxicological evaluations". *Nanotoxicology*, 276-283.
- Chiba, Y., Islam, A., Watanabe, Y., Komiya, R., Koide, N., dan Han, L.Y., 2006. "Dye-sensitized solar cells with conversion efficiency of 11.1%". *Jpn. J. Appl. Phys.* 45, L638–L640.
- Chou, T.P., Qifeng Z., Bryan R., and Guozhong C., 2008. "Enhanced light conversion efficiency of titanium-dioxide dye-sensitized solar cells with the additional of indium-tin-oxide and fluorine-tin-oxide nanoparticles in electrode films". *Journal of Nanophotonics*, vol 2.
- Coelho, V., A.C., Rocha, G.A., Souza Santos, P., Souza Santos, H., Kiyohara, 2008. "Specific Surface Area and Structures of Aluminas from Fibrillar Pseudoboehmite". *Instituto de Fisica da Universidade de Sao Paulo*.
- Dai, Y.T., Guo, X., Pei, W., Chen, 2008. "Effects of MCAS glass additives on dielectric properties of Al_2O_3 - TiO_2 ceramics". *Elsevier Materials Science and Engineering A* 475 (2008) 76–80.
- Gangwar, J., B.K., Gupta, S.K., Tripathi and A.K., Srivastava, 2015. "Phase dependent thermal and spectroscopic responses of different morphogenesis of Al_2O_3 nanostructures". *Nanoscale*, (2015), DOI: 10.1039/C5NR02369F.

- Gnann, K., A. “Predicting Zeta Potential and Adsorption Behavior in the $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-TiO}_2\text{-ZrO}_2\text{-Surfactant}$ System”. Thesis, Alfred University.
- Grätzel, Michael. “Review Dye-sensitized solar cells,” *Journal of Photochemistry and Photobiology C*, vol. 4, 2003, pp. 145 – 153.
- Grzmil, B., B., Kic and M., Rabe, 2004. “Inhibition of Anatase-Rutile Phase Transformation Addition of K_2O , P_2O_5 and Li_2O ”, Technical University of Szczecin, Institute of Chemical and Environment Engineering, PL-70 322 Szczecin.
- Halme, J., 2002. “Dye-Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells: Technical Review and Preeleminary Test”, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.
- Hara, K., Arakawa, H., 2003. “Dye Sensitized Solar Cells”. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, hal. 663-698.
- Ito, S., Chen, P., Comte, P., Nazeeruddin, M.K., Liska, Paul, Pechy, P., dan Grätzel, M., 2007. “Fabrication of Screen-Printing Pastes From TiO_2 Powders for Dye-Sensitized Solar Cells”. Wiley Inter Science (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/pip.768.
- Kang, S.H., Kang, M.S., Kim, H.S., Kim, J.Y., Chung, Y.H., Smyrl, W.H., Sung, Y.E., 2008. “Columnar Rutile TiO_2 Based Dye-Sensitized Solar Cells By Radio-Frequency Magnetron Sputtering”. *Journal of Power Sources* 184, hal. 331–335.
- Leddy, Neal, 2012. “Surface Area and Porosity”. CMA Analytical Workshop Handout. USA.
- Lestari, Bibit, 2014. “Optimalisasi Fraksi Volume TiO_2 Terhadap Efisiensi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell)”. Tugas Akhir, ITS.
- Lee, J.K., Yang, M., 2011.” Progress in Light Harvesting and Charge Injection of Dye Sensitized Solar Cells”. *Materials Science and Engineering*, vol B 176, hal 1142– 1160.
- Liu, W., Hua, L., Dai, S., Guo, L., Jiang, N., Kou, D., 2010. ”The Effect of The Series Resistance in Dye Sensitized Solar Cells Explored By Electron Transport and Back Reaction Using

- Electrical and Optical Modulation Techniques”. *Electrochimica Acta*, vol 55, hal 2338–2343.
- Liu, Z.P.C., M., Li, L.S., Yin, 2011. “Research on Core-Shell TiO_2 by One-Step Hydrothermal,” *Adv. Mater. Res*, vol 239-242, pp 958-962.
- Luque, A., dan Hegedus, S., 2003. *Handbook of Photovoltaic Science And Engineering*. The Netherlands: Elsevier.
- Mahendra, R., 2015. “Fabrikasi dan Uji Performansi *Dye-Sensitized Solar Cells* (DSSC) berbasis *ZnO Nanostructures (Nanosphericals, Nanorods, Nanoflowers, Nanotrees)* dengan Menggunakan Pewarna Kulit Manggis”. Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Narayan, M.R., 2011. “Dye Sensitized Solar Cells Based on Natural Photosensitizers”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* vol.16, issue 1, hal. 208-215.
- Ngo, T., Zhao, Y., 2009. “Stabilization of Anthocyanins on Thermally Processed Red D’Anjou Pears Through Complexation and Polymerization”. *LWT-Food Science and Technology*, vol 42, hal 1144–1152.
- Olea, A., Ponce, G., Sebastian, P.J., 1999. “Electron Transfer Via Organic Dyes For Solar Conversion”. *Solar Energy Materials and Solar Cells* 59, hal 137-143.
- Ovando, A.C., Pacheco-Hernandez, Ma.D.L., Paez-Hernandez, Ma.E., Rodriguez, J.A., Galan-Vidal, C.A., 2009. ”Chemical Studies of Anthocyanins: a Review”. *Food Chemistry* vol 113, hal 859–871.
- Palomares E., Clifford J.N., Haque S.A., Lutz T., Durrant J.R., 2003. “Control of charge recombination dynamics in dye sensitized solar cells by the use of conformally deposited metal oxide blocking layers”. *J Am Chem Soc.* 2003 Jan 15;125(2):475-82.
- Putri, I.E., 2014. “Studi Kinetika Pertumbuhan Nanopartikel TiO_2 dan Transformasi Anatase-Rutile dari Larutan TiCl_3 dengan Menggunakan Metode Kopresipitasi”. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

- Savage, Lynn. "Perovskite Photovoltaic Hitting Their Stride". Optics and Photonics News November 2014.
- Syukron, A., 2013. "Pengaruh Preparasi Pasta Nanopartikel ZnO dan Temperatur Annealing pada *Dye-Sensitized Solar Cells* (DSSC)". Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Tributsch, H., A., Barkschat, T., Moehl and B., MacHt, 2008. "The function of TiO_2 with respect to sensitizer stability in nanocrystalline dye solar cells," Int. J. Photoenergy vol 2008.
- Varghese, O.K., C.A., Grimes, 2008. "Appropriate Strategies for Determining The Photoconversion Efficiency of Water Photoelectrolysis Cells: A Review with Examples Using Titania Nanotube Array Photoanodes". *Solar Energy Materials & Solar Cells* 92 (2008) 374–384.
- Wahyuono, R.A., 2013. "Dye-sensitized Solar Cells (DSSC) Fabrication with TiO_2 and ZnO Nanoparticle for High Conversion Efficiency". Thesis, Engineering Physics, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Wongcharee, K., Meeyoo, V., Chavadej, S., 2007. "Dye Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes Extracted from Rosella and Blue Pea Flowers". *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol 91, hal 566–571.
- Woodley, S.M., 2009. "Structure prediction of titania phases: Implementation of Darwinian versus Lamarckian concepts in an Evolutionary Algorithm". *Computational Materials Science*, vol 45, hal 84-95.
- Wu, Chengtie., Ramaswamy, Yogambha, Gale, David, 2008. "Novel sphene coatings on Ti–6Al–4V for orthopedic implants using sol–gel method". *Acta Biomaterialia*, vol 4, hal 569-576.
- Yang, M.J., Long, K., Qiu, S., Liu, 2015. " $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ core/shell powder derived by novel sol–gel routes". *J Sol-Gel Sci Technol* (2015) 75:475–480.
- Yuwono, H.A., Dhaneswara, D., Ferdiansyah, A., Rahman, A., 2011. "Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna Berbasis Nanopartikel TiO_2 Hasil Proses Sol-Gel Dan Perlakuan Pasca Hidrotermal".

Jurnal Material dan Energi Indonesia Vol. 01, No. 03, hal 127 – 140.

Zhiping, Liu, An Keyun, Li Changming, 2011. “Research on The Parameters of Core-Shell $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ One-step Method”.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis mempunyai nama lengkap **Nur Hasanah Azka Tiffany**, lahir di Pekalongan pada tanggal 30 Agustus 1994 dan merupakan anak tunggal dari Ibu Maria Ulfa. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di MSI XI Nurul Islam, pendidikan menengah di SMP N 02 Pekalongan, dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA N 03 Pekalongan yang kemudian dilanjutkan ke ITS Jurusan Teknik

Fisika pada tahun 2012 dengan NRP 2412100008. Hingga pada tahun 2016 penulis akhirnya melaksanakan Tugas Akhir sebagai syarat untuk menyelesaikan studi S1 di Jurusan Teknik Fisika dengan judul “**Pengaruh Konsentrasi $AlCl_3$ Pada Sintesis $Al_2O_3@TiO_2$ Core-Shell Powder Terhadap Karakteristik Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)**”. Bagi pembaca yang memiliki saran, kritik, atau ingin berdiskusi lebih lanjut tentang Tugas Akhir ini, maka bisa menghubungi penulis melalui azkatiffany@gmail.com